

Niko Kauriste

Viranomaisverkon sisäpeittoverkon suunnitteluohje

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

11.5.2015

Tekijä(t) Otsikko	Niko Kauriste Viranomaisverkon sisäpeittoverkon suunnitteluohje
Sivumäärä Aika	57 sivua + 5 liitettä 11.5.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Tapio Kallasjoki Projektipäällikkö Mikko Yrjönen
<p>Insinööritöiden tarkoitus oli tehdä ohje viranomaisverkon sisäpeittoverkon sähkösuunnittelusta Insinööritoimisto Tauno Nissinen Oy:lle. Toimistolla ei ole ollut koottua tietoa verkon suunnittelusta, eikä tällä hetkellä tarjolla olevista ohjeista löytynyt tähän apua. Tämä insinööritö on täten suunnattu sähkösuunnittelijoille ja -insinööriopiskelijoille, joilla ei ole aiempaa kokemusta radioverkon suunnittelusta.</p> <p>Tässä työssä keskitytään viranomaisverkon sisäpeittoverkon suunnitteluun ja siinä käytettyihin komponentteihin. Insinööritöitä ja sen kaavoja voidaan helposti soveltaa myös matkapuhelinverkon taajuuksille. Usein verkkoa käytetäänkin usean operaattorin toimesta, joten tässä suhteessa työ ei välttämättä vastaa todellisuutta.</p> <p>Insinööritö on suhteellisen teoreettinen radiosignaalin mallintamisen osalta, eikä näitä ole testattu toistaiseksi missään oikeassa projektissa. Työssä käsiteltiin muutamia sisätiloihin sopivia etenemismalleja ja vertailin näitä simulointiohjelman tuloksiin. Työn tuloksia tullaan hyödyntämään ensin kokeilumielessä ja myöhemmin kokonaisuudessaan, jos ne osoittautuvat toimiviksi.</p> <p>Työn tuloksena yritykselle tehtiin Excel-tilukko radiosignaalin etenemismallien helppoon laskemiseen. Tarkoitus oli kehittää yksinkertainen tapa laskea signaalin vaimentuminen sisätiloissa. Excel-tilukkoa voidaan hyödyntää ilman tutustumista insinööritöön.</p>	
Avainsanat	VIRVE, viranomaisverkko, radiotekniikka, etenemismallit, vaimentuminen

Author(s) Title	Niko Kauriste Finland's Authority Radio Network's Planning Guide for Indoors
Number of Pages Date	57 pages + 5 appendices 11 May 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor(s)	Tapio Kallasjoki, Senior Lecturer Mikko Yrjönen, Project Manager
<p>The objective of this thesis was to make instructions for planning indoor authority radio network (VIRVE) for engineering office Tauno Nissinen Ltd. The office didn't have any gathered information for planning indoor radio network system and there were no other guides available. This thesis is aimed at electrical designers and electrical engineering students who have no knowledge about it.</p> <p>This thesis is focused on designing an authority radio network system and introducing different radio frequency components. The information of this thesis can be used in same kind of systems with different frequencies, for example normal mobile phone networks. Most of time indoor radio network systems are used by many operators, so because of this, this study might not reflect exactly the situation in reality.</p> <p>This study might be quite theoretical as concerns radio signal modeling and these modeling equations are not tested in any real projects. This thesis deals with a couple of indoor path loss models and the results were compared to simulation program results. This thesis will be used first for testing purpose and later, if everything works well, it will be used to design the network.</p> <p>As a result of this study, an Excel table was made for the company in order to calculate easily different radio signal propagation models. The purpose was to develop simple way to calculate the signal attenuations indoors. The Excel table can be used without reading the thesis.</p>	
Keywords	VIRVE, authority radio network, radio technology, path models, attenuation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Suomen Erillisverkot Oy lyhyesti	2
3	Lait, asetukset ja määräykset	2
3.1	Pelastuslaki 109§	2
3.2	Tietoyhteiskuntakaari 917/2014, 6 luku 39 §	2
3.3	Tukiasema-antennien asentaminen	3
4	Käsitteitä	5
4.1	Radioaalto	5
4.2	Beli ja desibeli	6
4.3	Desibelimilliwatti, dBm	8
4.4	Desibeliwatti, dBW	9
4.5	Desibeli suhteessa tehotasoon, dBc	9
5	Sisäpeittoantenniverkko	9
6	Antenniverkkojen häiriöt	11
6.1	Return Loss	11
6.2	Standing Wave Ratio, SWR	12
6.3	Passive Intermodulation, PIM	15
6.4	Intermodulation, IM	17
7	Komponenttien valinnassa huomioitavaa	17
7.1	Impedanssi	17
7.2	Isolaatio	18
7.3	Läpimenovaimennus	19
7.4	Suojausvaimennus ja kytkentävaimennus	19
7.5	Nopeuskerroin	20
8	Laitteet	20
8.1	Toistin	20

8.2	Liitäntäyksiköt	22
8.3	Kaapelit	23
8.3.1	Koaksiaalikaapeli	23
8.3.2	Säteilevä kaapeli	23
8.3.3	Korrugoitu kaapeli	24
8.3.4	RF-jumpperikaapelit	25
8.4	Korrugoidun kaapelin kiinnikkeet	25
8.5	Diplexeri	26
8.6	Tehonjakajat	27
8.6.1	Symmetrinen tehonjakaja	27
8.6.2	Epäsymmetriset tehonjakajat	27
8.7	Hybridi	28
8.8	Antennit	28
8.9	Päätevastus	29
8.10	DC-erotin	31
8.11	Adapterit	31
8.12	Liittimet	33
8.12.1	7/16 DIN-liitin	33
8.12.2	N-liitin	34
9	Suunnittelu	35
9.1	Alkukartoitus	35
9.2	Aktiivinen ja passiivinen järjestelmä	36
9.2.1	Passiivinen sisäpeittoverkko	36
9.2.2	Aktiivinen sisäpeittoverkko	36
9.3	Vaatimuksia	37
9.4	Linkkibudjetti	39
9.5	Vaimennukset sisäpeittoverkossa	39
9.5.1	Komponenteissa tapahtuva vaimennus	39
9.5.2	Ilmassa ja seinissä tapahtuva vaimennus	40
9.5.3	Vapaan tilan malli eli free path loss	41
9.5.4	Indoor office environment path loss	41
9.5.5	ITU Indoor Path Loss	43
9.5.6	Log-Distance Path Loss	44
9.6	Etenemismallien tarkastelu	45
10	Loppudokumentointi	48
11	Havaintoja muista taajuuksista	49

Liitteet

Liite 1. Lomake L1, VIRVE sisäverkon tarvekartoituslomake

Liite 2. RFA 7/8"-50 -koaksiaalikaapelin tuotekortti

Liite 3. RFA 1 5/8"-50 -koaksiaalikaapelin tuotekortti

Liite 4. HUBER+SUHNER Sencity Ultra ympärisäteilevän antennin tuotekortti

Liite 5. Excel-taulukko radiosignaalin häviöiden laskemiseen

Lyhenteet

dB	Tulee sanasta desibel. Kuvaava tehojen suhdetta logaritmisella asteikolla.
dBi	Antennin vahvistus desibeleinä verrattuna pistemäiseen säteilijään.
dBm	Teho desibeleinä verrattuna milliwattiin.
ERIP	Equivalent isotropically radiated power. Antennin todellinen säteilyteho.
GSM	Global System For Mobile Communications. Toisen sukupolven matkaviestinjärjestelmä. Tunnetaan myös nimellä 2G.
LTE	Long Term Evolution. Neljännen sukupolven matkaviestinjärjestelmä. Tunnetaan myös nimellä 4G.
MHz	Megahertsi. Taajuuden yksikkö. Yksi megahertsi on miljoona hertsiä.
mW	Milliwatti. Tehon yksikkö. 1000 milliwattia on yksi watti.
pW	Tehon yksikkö pikowatti kuuluu SI-järjestelmään. Yksikön kerroin on 10^{-12} .
RF	Radio frequency eli radiotaajuus. Taajuusalue noin 1 MHz – 300 GHz.
TETRA	Terrestrial trunked radio. Se on Euroopassa kehitetty viranomaisille suunnattu radioverkko.
UHF	Ultra high frequency. Taajuusalue 300 MHz – 3 GHz.
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System. Kolmannen sukupolven matkaviestinjärjestelmä. Tunnetaan myös nimellä 3G.
virve	Lyhenne viranomaisradioverkosta, jota käytetään kirjoittaessa.
VIRVE	Lyhenne viranomaisradioverkosta, jota käytetään otsikoissa ja mainosteksteissä.

1 Johdanto

Nykypäivänä rakennusten energiatehokkuus on parantunut valtavasti ja täten radiosignaalin pääsy sisätiloihin on heikentynyt, tämä johtuu selektiivilaseista, suuremmista seinien rakennepaksuuksista ja peltikuorista [1]. Myös remontoitaessa vanhaa rakennusta voi radiosignaalin kulku sisätiloihin heikentyä, sillä esimerkiksi alumiinifolion käyttö lämpöeristeinä ja ikkunoiden vaihto aiemmin mainittuihin selektiivilaseihin vaimentavat radiosignaalia tehokkaasti [2]. Näistä ja muista kiristyneistä energiatehokkuusvaatimuksista johtuen on tullut tarve rakentaa rakennuksen sisälle erillinen sisäpeittoverkko.

Insinööriyön tavoitteena on antaa perustiedot sähkösuunnittelijalle, kuinka toteuttaa virve-sisäpeittoverkko rakennuksen sisälle tai maanalaisiin tiloihin, eli paikkoihin joihin maanpäällinen signaali ei kantaudu. Työtä voi soveltaa osittain myös matkapuhelinsignaalin jakamiseen. Työssä ei syvennytä tarkemmin itse TETRA-standardiin, vaan pyritään keskittymään vain suunnittelijan tarpeisiin.

Tästä insinööriyöstä on tarkoitus tehdä perusohje sisäverkkojen suunnitteluun Insinööritoimisto Tauno Nissinen Oy:lle. Työ on tarkoitettu sähkösuunnittelijalle, jolla ei ole aiempaa kokemusta, tai on vain vähäinen kokemus radioverkon suunnittelusta.

Työssä käsitellään ensin lyhyesti Suomen Erillisverkot Oy, joka operoi Suomessa viranomaisverkkoa. Tämän jälkeen esitellään käytössä olevia määräyksiä, joihin perustuen viranomaisverkko vaaditaan rakennettavaksi julkisrakennuksiin. Sitten tarkastellaan käsitteitä radiotekniikasta, jotta voidaan ymmärtää eri arvojen merkitys komponentteja valittaessa ja ymmärrys vaimennuksen tai vahvistuksen suuruudesta eri tilanteissa hahmottuu. Tämän jälkeen käydään yksinkertaisella tavalla läpi sisäpeittoantenniverkko, jonka jälkeen perehdytään tarkemmin kahteen antenniverkon häiriötekijään. Näihin kahteen perehtyminen helpottaa komponenttien laadun vertailua, joka tulee huomioida etenkin suurissa kohteissa hyvin. Seuraavaksi tarkastellaan komponenttien valintaa. Työssä esitellään yleisimpiä sisäpeittoverkon komponentteja, miksi niitä tarvitaan ja minkä kokoinen on tarkoituksenmukainen. Esittelyiden jälkeen seuraa suunnitteluosuus, missä käsitellään suunnittelutyön aloittamista, vaimentumia, etenemismalleja rakennuksissa ja verkon loppudokumentointia. Tässä tarkastellaan myös hieman muihin taajuuksiin liittyvää materiaalia, jota voidaan varauksin soveltaa myös viranomaisverkon taajuuksiin. Lopuksi on yhteenveto insinööriyöstä.

2 Suomen Erillisverkot Oy lyhyesti

Suomen Erillisverkot -konsernin päätehtävänä on turvata Suomen kriittisen johtamisen ja tietoyhteiskunnan palvelut myös poikkeusaikoina. Konserni keskittyy valtakunnalliseen viranomaisverkko virven operointiin. Virven lisäksi muita tehtäviä ovat radiopääte-laite- ja huoltotoiminta sekä infrastruktuurin tuottaminen konesali-, tietoliikenne- ja palvelinhotellipalveluissa. Konsernin liikevaihto on noin 38 miljoonaa euroa ja työntekijöitä yli 100. Suomen Virveverkko Oy omistaa ja operoi virve-verkkoa ja tytäryhtiönä se kuuluu Suomen Erillisverkot -konserniin. Virve on otettu käyttöön Suomessa vuonna 2002. [3; 4.]

3 Lait, asetukset ja määräykset

3.1 Pelastuslaki 109 §

Pelastuslaki määrää julkisiin rakennuksiin tai rakennelmiin, joissa on korkea henkilöturvallisuusriski, toimivan viranomaisverkon. Mikäli maanpäällinen verkko ei kantaudu rakennuksen sisätiloihin, on tehtävä sisäpeittoverkko. Tähän lakiin vedoten voidaan myös vaatia vanhaan rakennukseen tai rakennelmaan sisäpeittoverkko.

Jos viestintämarkkinalain (393/2003) 2§:n 1 momentin 9 kohdassa tarkoitetun viranomaisverkon käytettävyys rakennuksessa tai rakennelmassa, jossa on tavanomaista suurempi henkilöturvallisuusriski, on estynyt rakennuksesta tai rakennelmasta johtuvasta rakenteellisesta syystä ja viranomaisverkon käytettävyys ei ole riittävä pelastustoiminnan asianmukaiseksi suorittamiseksi, alueen pelastusviranomainen voi määrätä rakennuksen tai rakennelman omistajan hankkimaan välttämättömiä viranomaisverkon käytettävyyttä varmistavia laitteita ja pitämään ne toimintakunnossa [5].

3.2 Tietoyhteiskuntakaari 917/2014, 6 luku 39 §

Tietoyhteiskuntakaari 917/2014 kohdan 6 lukua 39 § sovelletaan aktiivisten toistimien suhteen. Aktiivisen sisäpeittoverkon tekeminen on luvanvaraista, vaikka laitteita voidaan myydä kenelle tahansa. Suomen Erillisverkot Oy hakee toistimelle radiolupaa Ficoralta liitteen 1 mukaisella kaavakkeella, joka on saatavilla myös viranomaisverkon sivuilta. [6, s. 6.]

Radiolähettimien hallussapito ja käyttö edellyttävät Viestintäviraston myöntämää radiolupaa, jollei tässä pykälässä toisin säädetä.

Radiolupa sähköisten viestintäpalvelujen käyttöön tarkoitetuille radiotaajuuksille on myönnettävä kuuden viikon kuluessa siitä, kun Viestintävirasto on saanut kaikki asian ratkaisemiseksi tarpeelliset asiakirjat. Myöntäessään radioluvan 40 §:n nojalla Viestintävirasto voi pidentää kuuden viikon määräaikaa enintään kahdeksalla kuukaudella, jos se on hakumennettelyn tasapuolisuuden, kohtuullisuuden, selkeyden tai avoimuuden varmistamiseksi, hakemusten täydentämiseksi taikka muusta erityisestä syystä tarpeen. Määräajan pidentämisestä on ilmoitettava julkisesti.

Radiolähtetimen hallussapitoon ja käyttöön ei tarvita radiolupaa, jos radiolähtetin toimii ainoastaan Viestintäviraston sille määräämällä yhteistaajuudella ja sen vaatimustenmukaisuus on varmistettu tässä laissa säädetyllä tavalla. Viestintävirasto voi antaa tällaisen radiolähtetimen käyttöä rajoittavia määräyksiä, jotka ovat taajuuksien tehokkaan ja tarkoituksenmukaisen käytön sekä häiriöiden estämisen tai poistamisen kannalta tarpeellisia.

Viestintävirasto voi määrätä, että 3 momentissa tarkoitettun radiolähtetimen hallussapidosta ja käytöstä on ennen sen käyttöönottoa tehtävä kirjallinen kerrallaan enintään viisi vuotta voimassa oleva rekisteröinti-ilmoitus.

Radiolähtetimen hallussapitoon ei tarvita radiolupaa, jos radiolähtetin on pysyvästi tehty teknisesti kykenemättömäksi radioviestintään tai jos muuten on selvää, että hallussapidon tarkoituksena ei ole laitteen käyttäminen radioviestintään. [7.]

3.3 Tukiasema-antennien asentaminen

Tukiasemat toimivat radiolähtetiminä ja -vastaanottiminä, kuten matkapuhelimetkin, mutta tukiasemissa on huomattavasti suuremmat lähetystehot. Tämän takia on määrätty ohjeita, kuinka antenni kannattaa sijoittaa ja minkä verran tehoa se saa säteillä. Keskitytään tässä vain sisätiloihin. [8, s. 4.]

Suunnittelija pystyy vaikuttamaan kosketusetäisyyteen suunnittelemalla antennin sellaiseen paikkaan tai sellaiselle korkeudelle, ettei sen lähelle päästä normaalitilanteissa. Säteilyturvakeskuksen tekemässä oppaassa on turvallisuusarvio yksinkertaistettuna standardeista. Tämä ei sovellu alle 800 MHz:n taajuuksille tai antennille, jotka säteilevät myös taakse hyvin voimakkaasti. [8, s. 5.]

Antenni katsotaan pienitehoiseksi, jos jokin seuraavista ehdoista täyttyy:

- Kaikkien antennin kanavien säteilemä yhteisteho on enintään 250 milliwattia.
- Kaikkien antennien kanavien yhteenlaskettu teho on korkeintaan yhden watin ja antennin alareuna on vähintään kahden metrin korkeudella tasosta, jonne yleisöllä on mahdollisuus mennä.
- Tilassa ei ole tarkoitus oleskella pitkään, kuten portaikot ja käytävät. Lisäksi jos kukaan ei voi joutua alle 20 cm:n päähän antennista vahingossakaan, voidaan

antennin yhteenlaskettu teho sallia enintään kahteen wattiin. Jos kuitenkin käytetään 1-2 W säteilytehoa, on antenni sijoitettava yli kahden metrin korkeuteen.

- Antennin EIRP-teho ei ylitä kymmentä wattia ja yleisö ei pääse kahta metriä lähemmäksi antennista. Lisäehtona äskeiseen on, ettei antennin lähettyvillä ole alle 2,5 metrin säteellä muita samaan suuntaan osoittavia antennejä. [8, s. 6.]

Tehotiheyden laskenta

Tehotiheys tarkastelupisteessä lasketaan kaavasta 1. Vahvistuksena käytetään tarkastelukulmasta riippumatta antennin pääkeilan suurinta vahvistusta.

$$S = \frac{PG}{4\pi r^2} \quad (1)$$

$$r = \sqrt{\frac{PG}{4\pi S}} \quad (2)$$

$$G = 10^{\frac{G_{dB}}{10}} \quad (3)$$

$$P_{EIRP} = PG \quad (4)$$

- S on tehotiheys [W/m^2]
- P on antenniin syötetty teho watteina [W] eli kaikkien saman taajuusalueen kanavien yhteenlaskettu teho vähennettynä kaapeli- ym. vaimennuksilla. Mikäli lähettimen teho vaihtelee, käytetään suurinta mahdollista keskimääräistä tehoa enintään kuuden minuutin aikakeskiarvona.
- G on antennin suurin (pääkeilan) vahvistus paljaana lukuna. Desibeleinä [dB] ilmoitetun vahvistuksen G_{dB} saa muutettua paljaaksi luvuksi kaavalla 3.
- r on etäisyys antennista tarkastelupisteeseen
- P_{EIRP} on antennin EIRP-teho
- Kaavassa 2 on r ratkaistuna kaavasta 1 turvaetäisyyden laskemista varten

Kuva 1. Tehotiheyden laskentaan käytettävät kaavat [8, s. 8].

Yllä olevan kuvan 1 kaavoilla voidaan laskea tehotiheys. Jos tulos ylittää yli 5 % altistustason ylityksen, tulee arvio tehdä tarkemmilla menetelmillä, joita on kuvattu standardeissa tarkemmin. Jos turvallisuusarvio joudutaan tekemään muulla tavoin kuin äsken on esitetty, laskelmat dokumentoidaan standardin EN 50401 kohdan 6 mukaisesti.

Koska nämä viitearvot eivät koskeneet viranomaisverkon taajuutta, ei tässä perehdytä asiaan tarkemmin. [8, s. 8.]

Taulukko 1. Tehotiheyden viitearvot [8, s. 9].

Taajuus (MHz)	Väestön viitearvo (W/m ²)	Työntekijöiden viitearvo (W/m ²)
900	4,5	22,5
1800	9	45
> 2000	10	50

Taulukosta 1 voidaan katsoa eri taajuuksille olevat viitearvot, josta äskeisessä kappaleessa puhuttiin. Mitä korkeampi taajuus, sen korkeammat säteilyn raja-arvot ovat eli myös antenni voidaan sijoittaa huomattavasti vapaammin ennen kuin viitearvo ylitetään.

4 Käsitteitä

4.1 Radioaalto

Radioaallot ovat sähkömagneettista säteilyä. Perusidea aallon etenemisellä on sen liike aallonpituuden (λ , lambda) verran yhden jakson aikana [9, s. 9]. Radioaallot määritellään taajuusalueelle 300 Hz – 400 GHz [10]. Toisessa lähteessä radioaallot määritellään taajuusalueelle 1 MHz – 300 GHz [11, s. 1]. Tässä työssä keskitytään kuitenkin vain UHF taajuusalueelle eli 300–3000 MHz aallonpituuden ollessa 1 m – 10 cm [11, s. 2]. Kuva 2 kategorioi eri radioaaltojen taajuudet.

Taulukko 2. Radioaaltojen määrittely eri kategorioihin [12].

Frequency	Wavelength	Designation	Abbreviation ^[5]
3–30 Hz	10^5 – 10^4 km	Extremely low frequency	ELF
30–300 Hz	10^4 – 10^3 km	Super low frequency	SLF
300–3000 Hz	10^3 –100 km	Ultra low frequency	ULF
3–30 kHz	100–10 km	Very low frequency	VLF
30–300 kHz	10–1 km	Low frequency	LF
300 kHz – 3 MHz	1 km – 100 m	Medium frequency	MF
3–30 MHz	100–10 m	High frequency	HF
30–300 MHz	10–1 m	Very high frequency	VHF
300 MHz – 3 GHz	1 m – 10 cm	Ultra high frequency	UHF
3–30 GHz	10–1 cm	Super high frequency	SHF
30–300 GHz	1 cm – 1 mm	Extremely high frequency	EHF
300 GHz – 3000 GHz	1 mm – 0.1 mm	Tremendously high frequency	THF

Taulukosta 2 voidaan tarkastella eri taajuuksien aallonpituuksia, niiden lyhenteitä ja selitteitä englanniksi.

4.2 Beli ja desibeli

Beli on hyvin yleisesti käytetty logaritminen asteikko radiotekniikassa, ja paremmin se tunnetaan nimellä desibeli [9, s. 15]. Johtuen belin suuruudesta, otettiin arkikäyttöön sen kymmenysosa eli desibeli [13]. Sitä käytetään myös muissa sähkötekniikan sovelluksissa, kuten ääniaalloissa, eikä sen käyttö rajoitu vain tähän. Sen tarkoitus on esittää kätevästi kahden eri arvon suhdetta toisiinsa. [9, s. 15.] Taulukko 3 on hyvä apuväline havainnollistamaan eri desibeline suhdetta tehoon.

Taulukko 3. Tehon suhde desibeleihin [14].

Power Ratio	Decibels (dB)
2	3.01030
3	4.77121
4	6.02060
5	6.98970
6	7.78151
7	8.45098
8	9.03090
9	9.54243
10	10.00000
100	20.00000
1000	30.00000
10,000	40.00000
100,000	50.00000
1,000,000	60.00000

Seuraavaksi esitetään yksi esimerkki siitä, miksi logaritmista asteikkoa käytetään. Radiotekniikassa voidaan vertailla esimerkiksi kahta eri tehoa, 100 W ja 0,00000001 W. Vertailu on melko hankalaa ja numeroina ero olisi 10 000 000 000:1 kun desibeleinä ero on 100 dB. Helppoina muistisääntöinä 3 dB on kaksinkertainen ja 10 dB kymmenkertainen muutos. [9, s. 15.]

Tehosuhteen desibeleinä voi myös laskea alla olevalla kaavalla [13]:

$$A = 10 \times \log_{10}\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

A on tehosuhte verrattavaan kohteeseen
P1 on laitteeseen menevä teho tai referenssiteho
P2 on lähtöteho tai vertailuteho.

Esimerkiksi:

$$A = 10 \times \log_{10} \left(\frac{100W}{1W} \right) = 20 \text{ dB}$$

4.3 Desibelimilliwatti, dBm

Desibelimilliwattia käytetään radiotekniikassa kuvaamaan signaalin voimakkuutta. Se on desibelin tavoin logaritminen ja sen lyhenne on dBm. Aina ei välttämättä tarvitse verrata signaalin voimakkuutta antennilta lähtevään tehoon, vaan tarve voi olla mitata paikan A signaalin voimakkuus. Tämä tulos voidaan taulukon 4 avulla muuttaa wateiksi. [15.]

Taulukko 4. dBW, dBm ja W muunnostaulukko [15].

Power (dBW)	Power (dBm)	Power (Watt)
-130 dBW	-100 dBm	0.1 pW
-120 dBW	-90 dBm	1 pW
-110 dBW	-80 dBm	10 pW
-100 dBW	-70 dBm	100 pW
-90 dBW	-60 dBm	1 nW
-80 dBW	-50 dBm	10 nW
-70 dBW	-40 dBm	100 nW
-60 dBW	-30 dBm	1 µW
-50 dBW	-20 dBm	10 µW
-40 dBW	-10 dBm	100 µW
-30 dBW	0 dBm	1 mW
-20 dBW	10 dBm	10 mW
-10 dBW	20 dBm	100 mW
-1 dBW	29 dBm	0.794328 W
0 dBW	30 dBm	1.000000 W
1 dBW	31 dBm	1.258925 W
10 dBW	40 dBm	10 W
20 dBW	50 dBm	100 W
30 dBW	60 dBm	1 kW
40 dBW	70 dBm	10 kW
50 dBW	80 dBm	100 kW
60 dBW	90 dBm	1 MW
70 dBW	100 dBm	10 MW
80 dBW	110 dBm	100 MW
90 dBW	120 dBm	1 GW
100 dBW	130 dBm	10 GW

Jopa matkapuhelimen asetuksista voidaan katsoa verkon signaalinvoimakkuus desibelimilliwateissa. Esimerkiksi kotonani signaalin voimakkuus makuuhuoneessa oli -81 dBm, mikä olisi watteina noin 10 pikowattia.

4.4 Desibeliwatti, dBW

Desibeliwatti on vastaava arvo kuin desibelimilliwatti, mutta tässä tapauksessa sitä verrataan yhteen wattiin (1 W). Sen lyhenne on dBW ja se voidaan muuttaa seuraavilla kaavoilla desibelimilliwateiksi tai desibelimilliwatit desibeliwateiksi. [15.]

$$P_{(dBW)} = P_{(dBm)} - 30$$

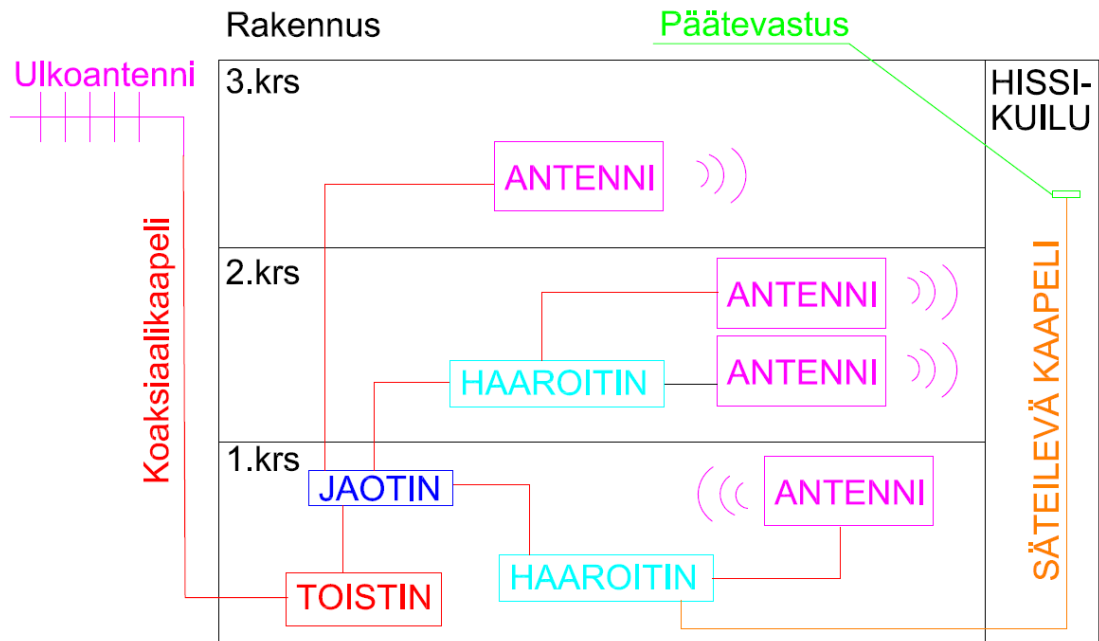
$$P_{(dBm)} = P_{(dBW)} + 30$$

4.5 Desibeli suhteessa tehotasoon, dBc

Lyhenne dBc tulee sanoista decibel value to carrier power level. Tämä tarkoittaa yleensä häiriön määrää suhteessa hyötysignaalin tehotasoon. Termiä dBc käytetään ilmaisemaan esimerkiksi PIM-arvo, jonka merkityksestä lisää luvussa 6.3. PIM-arvo muuttuu, mikäli lähetystehoa muutetaan. Tämän takia myös dBc-arvo voi muuttua.

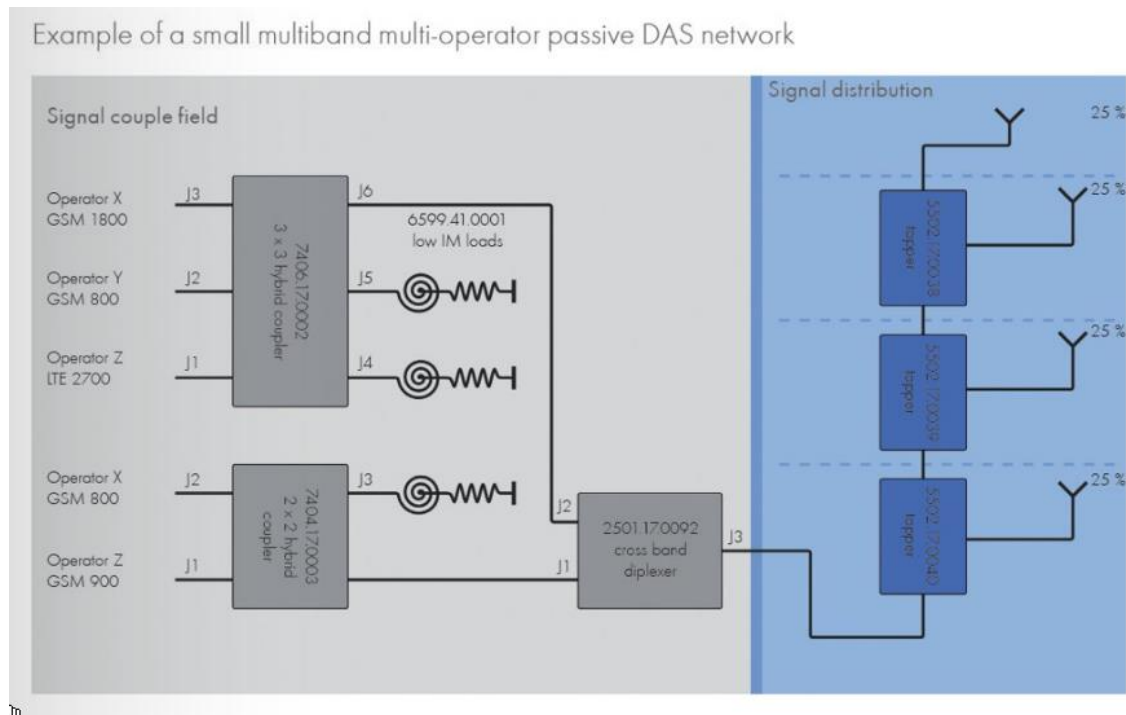
5 Sisäpeittoantenniverkko

Sisäpeittoantenniverkko, englanniksi Distributed Antenna Systems eli DAS, toteutetaan yleensä yksinkertaisesti nappaamalla halutut taajuudet tukiasemalta. Nämä taajuudet kuljetetaan toistimeen koaksiaalikaapelilla, joka vahvistaa signaalia ja siirtää radiosignaalin sisäantennille. Sisäantennit, kuten säteilevä kaapeli tai dipoliantenni, jakavat maanpäällisen vahvistetun signaalin verkon sisällä toimiville päätelaitteille. [16.] Tällöin päätelaitteen lähetystehoa voidaan pienentää sisätiloissa, mikä puolestaan säästää niiden akkua [17]. Alla on kuva 2 yksinkertaisesta aktiivisesta sisäpeittoverkosta.



Kuva 2. Yksinkertainen kuva aktiivisen sisäpeittoverkon järjestelmästä.

Seuraava kuva 3 on esimerkki yksinkertaisesta passiivisesta sisäpeittoverkosta. Passiivinen sisäpeittojärjestelmä voi olla muuten täysin samanlainen järjestelmä kuin aktiivisenkin, mutta siinä ei ole toistinta, joka vahvistaisi signaalia.



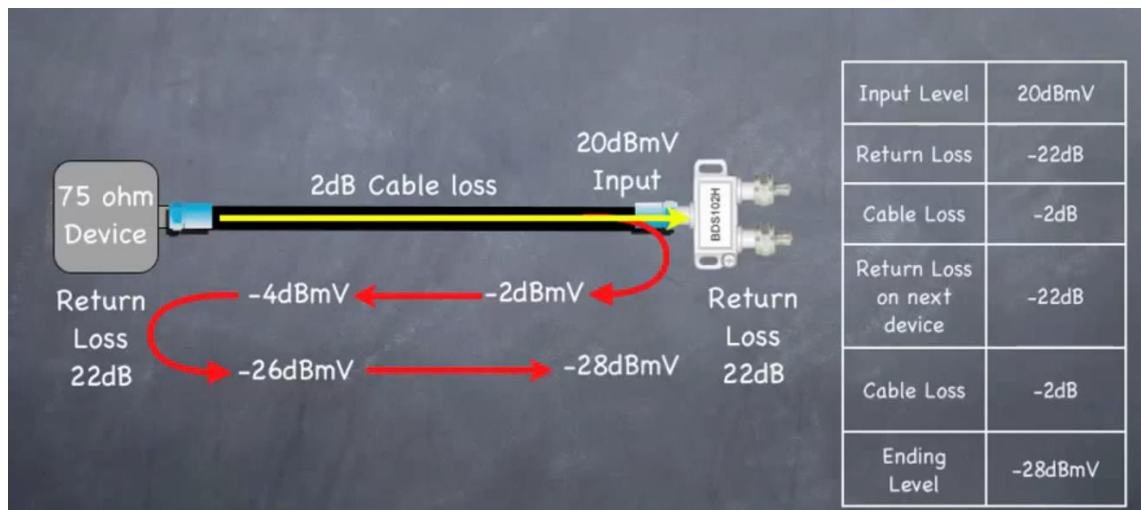
Kuva 3. Yksinkertainen kuva passiivisesta monioperaattori sisäpeittoverkosta [18, s. 53].

6 Antenniverkkojen häiriöt

Antenniverkkojen häiriöt ovat tärkeitä ymmärtää, kun valitaan oikeita komponentteja järjestelmään. Otetaan esimerkiksi seuraavan luvun 6.1 aihe, eli return loss. Yleensä komponenttien valmistajilta saa tämän tiedon arvosta, jonka pitää olla mielellään mahdollisimman suuri. Jos vertaillaan kahta samanlaista komponenttia eri valmistajilta, on parempi pelkästään return loss lukeman perusteella valita se komponenteista, kummalla tämä arvo on suurempi. Tämän vuoksi on tärkeää tietää perusasioita ennen kuin voi perehtyä komponentteihin. Vastaavasti tämä vaikuttaa myös VSWR-arvoon, joita käsitellään luvuissa 6.1 - 6.4 lisää.

6.1 Return Loss

Return loss tarkoittaa suomeksi heijastusvaimennusta. Alla oleva kuva 4 havainnollistaa tätä paremmin. Kuvassa käsitellään 75 ohmin järjestelmää ja signaalinvoimakkuus on dBmV eli desibelimillivolteina. Tämä ei ole ongelma, sillä heijastusvaimennuksen laskeminen toimii täysin samalla tavalla, vaikka arvot muutettaisiin 50 ohmin järjestelmiin sopiviksi ja signaalinvoimakkuus desibelimilliwateiksi.



Kuva 4. Paluuvaimennus komponenteissa [19].

Komponenteille ilmoitetaan valmistajan toimesta RL eli return loss arvo desibeleissä. Mikäli valmistajalta ei ole saatavissa heijastusvaimennuksen suuruutta, on parempi valita komponentiksi sellainen, josta arvo on tiedossa.

Heijastusvaimennuksen arvoa tarvitaan määritettäessä VSWR-suhde, joka käsitellään tarkemmin seuraavassa luvussa 6.2. Otetaan kaksi esimerkkiä heijastusvaimennuksesta:

Ensimmäisessä esimerkissä vaimennuksen suuruus on 10 dB. Taulukosta 3 havaittiin, että 10 dB on 10-kertainen suhteessa vertailtavaan arvoon. Tämä tarkoittaisi 10-kertaista vaimennusta ennen kuin signaali heijastuu takaisin, jolloin heijastunut paluusignaali on kymmenyksen suuruinen alkuperäisestä. Kuormaan menee 90 % tehosta ja 10 % jää heijastelemaan kaapeliin häiriten alkuperäistä signaalia.

Toisessa tapauksessa luku on 16 dB. Tämän voi muuttaa helpommin muotoon 10 dB x 3 dB x 3 dB, joka on kertoimina 10 x 2 x 2 eli 40. Heijastunut signaali on tässä tapauksessa vain yksi neljäskymmenesosa alkuperäisestä. Kuormaan menee 97,5 % ja heijastunut signaali on vain 2,5 %. Heijastumaa ei voida täysin estää, eli heijastumisvaimennusta on aina hieman.

6.2 Standing Wave Ratio, SWR

VSWR-mittauksilla varmistetaan perinteisesti sisäverkon toiminta. VSWR tulee sanoista voltage standing wave ratio ja se on sama asia kuin SWR. [20; 21.]

SWR-suhteen laskemiseen käytettävä kaava:

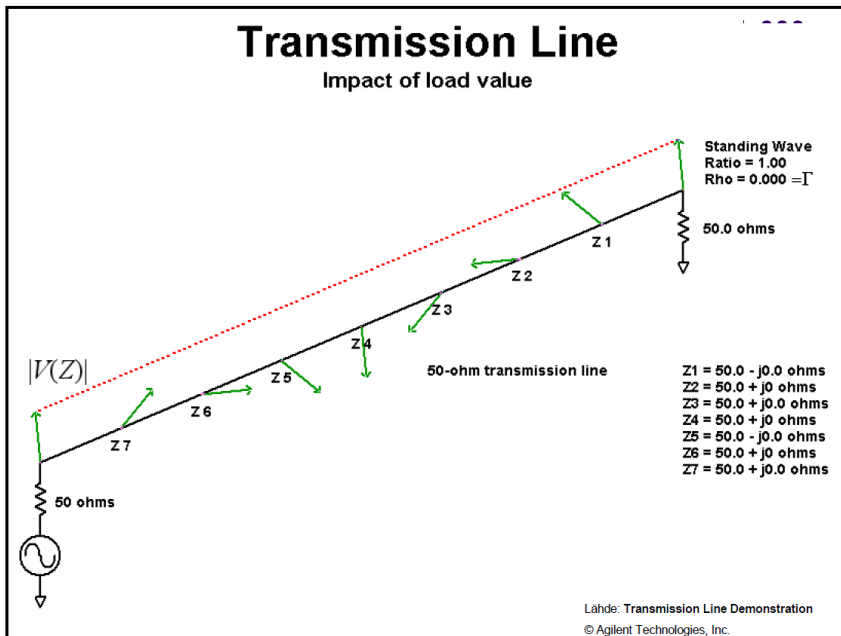
$$SWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

Γ on heijastumiskerroin

Jos Γ on yksi, niin RL on 0 dB tarkoittaen sitä, että kaikki syötetty teho on heijastunut takaisin. Jos Γ on nolla, niin RL on ∞ dB tarkoittaen sitä, että kaikki syötetty teho menee kuormaan.

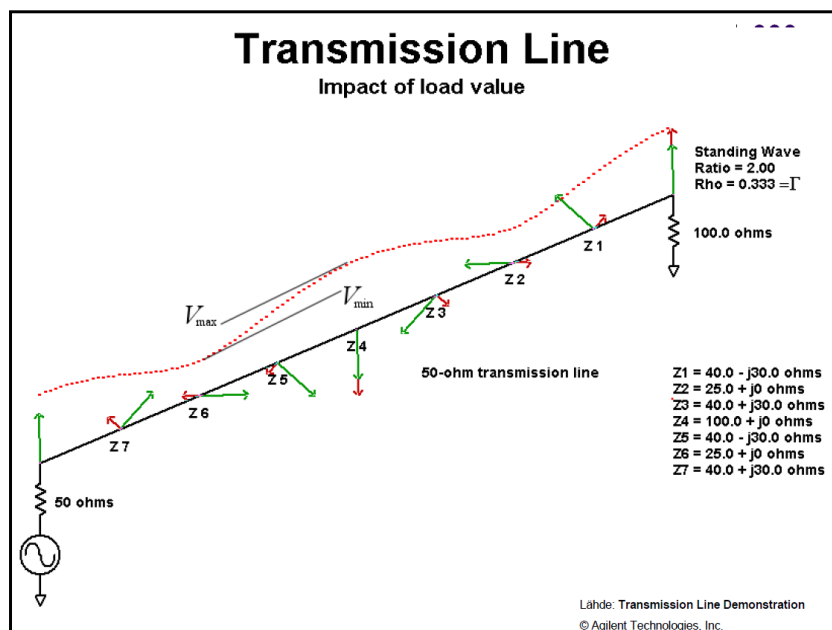
RL kuvaa sitä, miten paljon heijastunut teho on kuormalle menevää tehoa pienempi. Tätä sekä kytkentähäviöitä tai läpäisyvaimennusta syntyy kuorman epäsovutuksesta aiheutuneen heijastuksen vuoksi. [21.]

Alla oleva kuva 5 havainnollistaa tilannetta, jossa SWR- tai VSWR-suhde on erittäin hyvä. Tällaisessa ideaalitilanteessa paluueijastumista ei ole. mahdollisimman hyvä, eli paluueijastumista ei ole.



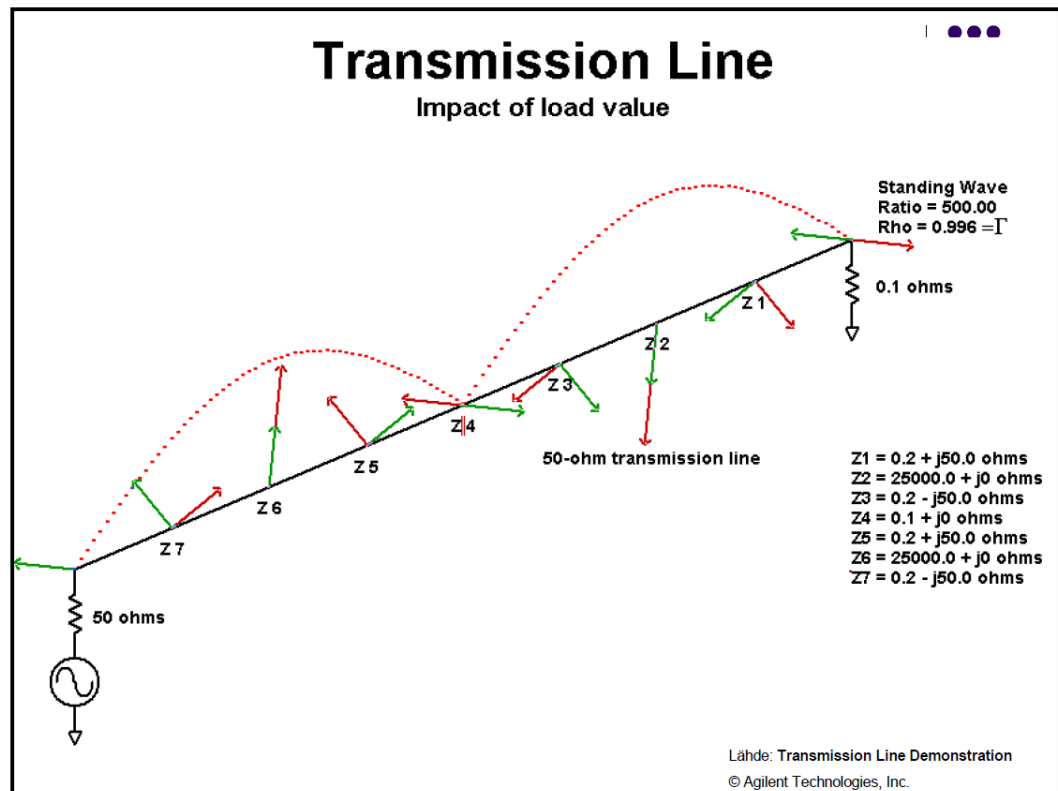
Kuva 5. SWR-suhde, kun heijastumiskerroin on hyvä [21].

Seuraava kuva 6 esittää tilannetta, jossa heijastumista on vain vähän. Kuvasta huomataan, kuinka V_{max} -käyrä on heikentynyt tai vahvistunut kohdasta riippuen



Kuva 6. SWR-suhde, kun heijastumiskerroin on kohtalainen [21].

Kuva 7 esittää tilannetta, jossa paluuheijastuminen on hyvin suuri ja signaali heijastuu kaapelissa hyvin voimakkaasti. Kuvan tilannetta ei saa ikinä syntyä, sillä tällöin sisäpeit-toverkko ei toimi oikein.



Kuva 7. SWR-suhde, kun heijastumiskerroin on erittäin huono [21].

Seuraavana on heijastusvaimennuksen, VSWR-arvon ja heijastuskertoimen muunnos-taulukko. Arvot voidaan myös johtaa, kun tiedetään kaksi muuta arvoa. Taulukon 5 jäl-keen kuvassa 8 on esitetty muunnoskaavat näiden laskemiseen.

Taulukko 5. RL, VSWR ja Γ muuntotaulukko [22].

40.1	1.02	0.00990	24.9	1.12	0.0566	17.0	1.33	0.141	7.0	2.61	0.447
36.6	1.03	0.0148	24.3	1.13	0.0610	16.0	1.38	0.158	6.0	3.01	0.501
34.1	1.04	0.0196	23.7	1.14	0.0654	15.0	1.43	0.178	5.0	3.57	0.562
32.3	1.05	0.0244	23.1	1.15	0.0698	14.0	1.50	0.200	4.0	4.42	0.631
30.7	1.06	0.0291	22.6	1.16	0.0743	13.0	1.58	0.224	3.0	5.85	0.708
29.4	1.07	0.0338	21.7	1.18	0.0826	12.0	1.67	0.251	2.0	8.72	0.794
28.3	1.08	0.0385	20.8	1.20	0.0909	11.0	1.78	0.282	1.0	17.4	0.891
27.3	1.09	0.0431	20.0	1.22	0.100	10.0	1.92	0.316	0.5	34.8	0.944
26.4	1.10	0.0476	19.0	1.25	0.112	9.0	2.10	0.355	0.0	Infinity	1.00

Return Loss	Voltage Standing Wave Ratio	Reflection Coefficient
$ReturnLoss = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{VSWR + 1}{VSWR - 1} \right) \text{ [dB]}$ $ReturnLoss = -20 \cdot \log_{10} \Gamma \text{ [dB]}$	$VSWR = \frac{10^{\frac{ReturnLoss(dB)}{20}} + 1}{10^{\frac{ReturnLoss(dB)}{20}} - 1} \text{ [: 1]}$ $VSWR = \frac{1 + \Gamma }{1 - \Gamma } \text{ [: 1]}$	$ \Gamma = 10^{\frac{-ReturnLoss(dB)}{20}}$ $ \Gamma = \left \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \right $

Kuva 8. Paluuvaimennuksen, VSWR-arvon ja heijastuskertoimen laskentakaavat [22].

6.3 Passive Intermodulation, PIM

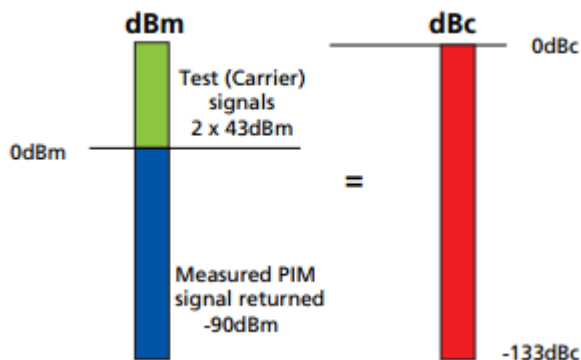
Passive intermodulation tarkoittaa suomeksi passiivista keskinäismodulaatiota. Lyhenteenä käytetään usein termiä PIM, jota käytetään yleensä kirjoitettaessa, esimerkiksi valmistajien katalogeissa. Passiivinen-etuliite viittaa passiivikomponentteihin. Esimerkiksi tehonjakaja on passiivinen komponentti. Se ei vahvista vaan ainoastaan jakaa signaalin osiin. [23.]

Keskeismodulaatiota esiintyy aina kun kahta tai useampaa taajuutta summataan yhteen. Tämän seurauksena järjestelmään saadaan ei-toivottuja häiriötaajuuksia. Jos tällaisia sattuu käyttötaajuuden kohdalle, voi yhteys päätelaitteeseen katketa kokonaan. Häiriötaajuuksien määrään voi alentavasti vaikuttaa hyvällä suunnittelulla, laadukkailla komponenteilla ja ammattitaitoisella asennuksella. Suunniteltaessa verkkoa tulisi suunnittelijan valita pienen PIM-särön omaavia tuotteita. [23.]

PIM-särö muodostuu komponenttien ja kaapelien liitoksissa, joten näiden kohdalla on oltava erittäin tarkkana. Suunnittelussa voidaan helpottaa asennusta valitsemalla laadukkaat komponentit. [23.]

PIM-arvo testataan aina 2 x 43 dBm summatuilla signaaleilla ja mitataan näistä syntyvä PIM-arvo. Jos palautuva PIM-häiriö on voimakkuudeltaan esimerkiksi -90 dBm, on PIM-

arvo tämän erotus eli $-(+43 \text{ dBm}) + (-90 \text{ dBm}) = -133 \text{ dB}$. Seuraavassa kuvassa 9 on äskeinen lasku esitetty havainnollisemmin. [24.]



Kuva 9. PIM-arvon määrittäminen [24].

PIM-arvoa testattaessa täytyy aina pitää IEC-standardin määrittämä $2 \times 43 \text{ dBm}$ signaalitaso. On havaittu, että jokainen yhden desibelin lisäys signaaliin tuottaa noin $2,5 \text{ dB}$ lisää PIM-häiriötä. Laskettaessa $2 \times 43 \text{ dBm}$:n signaalitaso esimerkiksi $2 \times 30 \text{ dBm}$:n signaalitasolle saatiin testissä PIM-häiriön signaalivoimakkuudeksi -123 dBm , jolloin PIM arvo olisi -153 dBc eli selkeästi parempi. [24.] PIM-mittaukset tulisi tehdä aina, kun verkko otetaan käyttöön [25, s. 5].

RF-komponenttivalmistaja HUBER+SUHNER lupaa liitteessä 4 olevalla antennilleen sen IMD-arvon olevan -145 dBc . Tämä IMD-arvo tulee sanoista intermodulation distortion ja tarkoittaa PIM-arvoa. Tässä tilanteessa täytyy kuitenkin huomioida valmistajan testeissä käyttämä teho, joka on $2 \times 30 \text{ dBm}$. Kuten aiemmin todettiin, täytyy PIM-arvoa testattaessa signaalitason olla $2 \times 43 \text{ dBm}$ tasolla. Jos tarkastelemme äskeistä tilannetta, missä signaalitaso pienennettiin tasolle $2 \times 30 \text{ dBm}$, havaittiin 20 dBc :n ero PIM-arvossa. Käytetään tätä 20 dBc :n eroa myös tässä, jolloin voidaan todeta antennin todelliseksi PIM-arvoksi -125 dBc :tä. Valmistajan ilmoittama PIM-arvo on syytä aina tarkastaa, millä teholla se on testattu. [18].

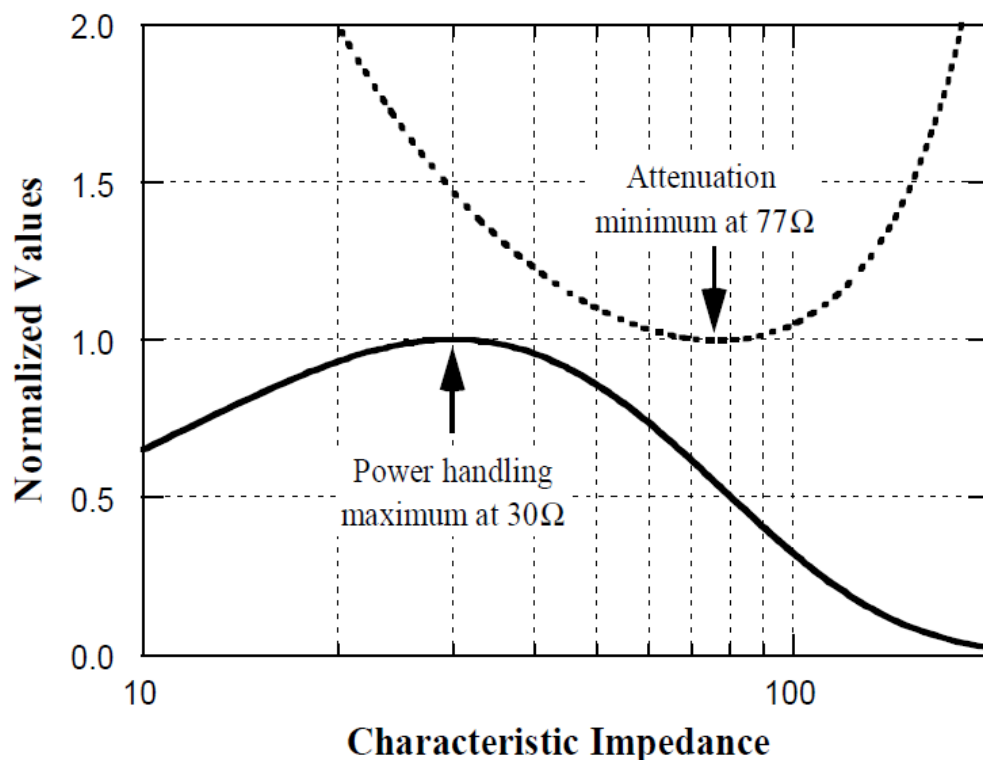
6.4 Intermodulation, IM

Intermodulation eli IM on vastaava PIM:n kanssa, mutta sanaa IM käytetään kun kyseessä on aktiivinen komponentti. Tyypillisesti se lyhennetään IM. Toisinaan osa ilmoitetaan IM-arvona ja osa PIM-arvona, mutta käytännössä asia ei eroa tosistaan. Itse häiriön määrä ei muutu puhuttiin kummasta tahansa. [23.]

7 Komponenttien valinnassa huomioitavaa

7.1 Impedanssi

Häiriöt eivät ole ainoita arvoja, joita komponenttien valinnassa on huomioitava. Laitteet valitaan impedanssin mukaan, joka tavallisesti on 50 ohmia. Syy tähän selviää paremmin seuraavasta kuvasta. Eli mikäli impedanssi komponenteissa olisi 30 ohmia, saataisiin mahdollisimman paljon tehoa siirrettyä kaapelissa, mutta samalla vaimentuminen kasvaisi hyvin suureksi. Täten varsinkin pienitehoisissa sovelluksissa 75 ohmia olisi vaimentumisen kannalta parempi. 50 ohmia, tai tarkemmin 48 ohmia, on geometrinen keskikohta. [26.]



Kuva 10. Impedanssin vaikutus koaksiaalikaapelin vaimennukseen ja tehonkestoön [27, s. 2].

Alla kuva 11 HUBER+SUHNER-nimisen yrityksen verkkokatalogista. Katalogissa on taulukoitu kätevästi eri komponentit ja niiden soveltuvuudet erikokoisiin järjestelmiin.

RF components

Component	Hybrid coupler	Diplexer Triplexer	Wilkinson divider	Directional coupler	Tapper	Power splitter
Main application	addition of signals even in the same band	combining of separate signal bands	symmetrical low power signal dividing	unequal signal dividing	unequal signal dividing	equal signal splitting
Typical isolation	30 - 35 dB	30 - 70 dB	20 dB	20 dB directivity	n/a	n/a
Power rating	high (200 W)	10 to 250 W	low (few watts)	high	high	high
IM performance	excellent	excellent	poor	good	excellent	excellent
Price level (1: low, 3: high)	2	3	1	2	1	1
Significance for DAS	high	high	low	moderate	high	moderate
Where used	multi-operator DAS	multiband DAS	deployed with small DAS only	sometimes deployed with DAS	commonly deployed with DAS	used with simple DAS design
Available types	2 × 2 3 × 3 4 × 4	cellular/WLAN cellular/cellular cellular/TETRA	2 way 3 way 4 way	various coupling values	various dividing values	2 way 3 way 4 way

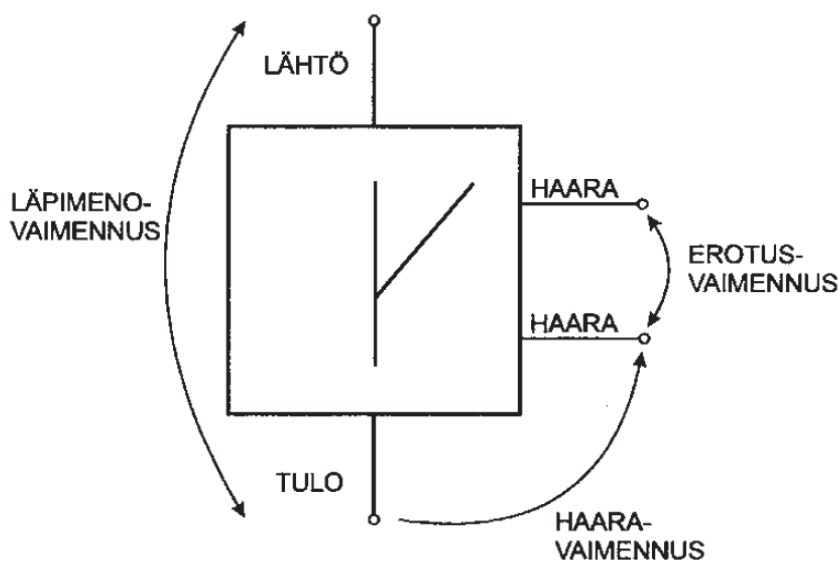
Kuva 11. Kuvankaappaus HUBER+SUHNER yrityksen verkkokatalogista. Komponenttien sopivuus eri järjestelmiin [18, s. 53].

7.2 Isolaatio

Isolaatio, englanniksi isolation, on komponenteissa eri bandien eli taajuusalueiden eristysarvo, joka kuvaa sitä, kuinka paljon signaali vaimenee toiselta taajuusalueelta tarkasteltuna [1]. Arvon täytyy olla mahdollisimman suuri, sillä muutoin esimerkiksi 900 MHz 3G voi häiritä 400 MHz:n viranomaisverkkoa tai päinvastoin. Komponenteista on tämän vuoksi katsottava, mitä valmistaja lupaa arvoksi. Tyypillisen isolaation tulisi olla sisäpeit-toverkoissa 60–90 dB. Monioperaattoriverkoissa, joissa kulkee hyvin monta signaalia molempiin suuntiin samanaikaisesta, vaaditaan jopa yli 100 desibelin isolaatiota. [28.]

7.3 Läpimenovaimennus

Läpimenovaimennus kuvaa haaroittimen päähaaran vaimennusta. Sen tarkoitus on jatkaa signaalia vaimentumatta kauimmaiselle antennille tai paikkaan, johon tarvitaan enemmän tehoa kuin haaroitettuun paikkaan. Haaroittimen haaravaimennukset voivat vaihdella muutamasta desibelistä kymmeniin, kun taas läpimenovaimennus halutaan pitää mahdollisimman pienenä. Kuva 12 esittää helpommin eri vaimennuksien merkitykset.



Kuva 12. Eri tyyppiset vaimennukset haaroittimessa [29, s. 56].

7.4 Suojausvaimennus ja kytkentävaimennus

Suojausvaimennus, englanniksi screening attenuation, on RF-komponentin eristeen kyky vaimentaa häiriöitä. Kytchentävaimennus, englanniksi coupling attenuation, on vastaava asia, mutta tätä käytetään erityisesti pienillä taajuuksilla eli korkeintaan 30 MHz:n sovelluksissa. Sisäpeittoverkoissa puhutaan siis suojausvaimennuksesta. [29, s. 87.] Mitä isompi vaimennus on, sitä paremmin kaapelin sisällä oleva signaali vaimenee kaapelin ulkopuolelle ja vastaavasti myös kaapelin ulkopuolinen signaali ei summaudu häiritsevästi kaapelissa kulkevaan signaaliin [30].

Suojausvaimennus voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$\text{Suojusvaimennus } A_s = 10 \log (P_1/P_2) \text{ dB}$$

A_s on suojausvaimennus desibeleinä

P_1 on kaapelissa kulkeva teho desibelimilliwateissa

P_2 on kaapelista vuotanut teho desibelimilliwateissa.

Antennijärjestelmissä vaaditaan suojausluokan A vähimmäisvaatimuksia koaksiaalikaapelille, jotka tulevat viestintäviraston määräyksestä 65/2013 M. KytKentäimpedanssin täytyy olla alle 5 milliohmia per metri kun taajuus on 5–30 MHz. Taajuusalueella 30 – 1000 MHz suojausvaimennuksen vaatimus on vähintään 85 dB, 1000–2000 MHz taajuusalueella vaatimus on vähintään 75 dB ja 2000 – 3000 MHz taajuusalueella vaatimus on vähintään 65 dB. Markkinoilla on kaapeleita, jotka eivät täytä näitä vaatimuksia, joten tämän takia on syytä määrittää kaapelit riittävän tarkasti. [29, s. 89–90.]

7.5 Nopeuskerroin

Nopeuskerroin kuvaa kaapelissa etenevän signaalin nopeutta verrattaessa valon nopeuteen tyhjiössä. Se ilmoitetaan prosentteina ollen aina alle yhden. Esimerkiksi Kiinto-PE-eristeen nopeusluku, englanniksi velocity factor, on 0,67 kun supervahto-PE-eristeen nopeuskerroin on 0,88. Käytännössä nopeuskertoimella ei ole sisäpeittoverkkoja suunniteltaessa merkitystä, mutta korkea nopeuskerroin viittaa yleensä alhaiseen vaimennukseen ja päinvastoin, kun vertaillaan saman paksuista kaapelia. [29, s. 85.]

8 Laitteet

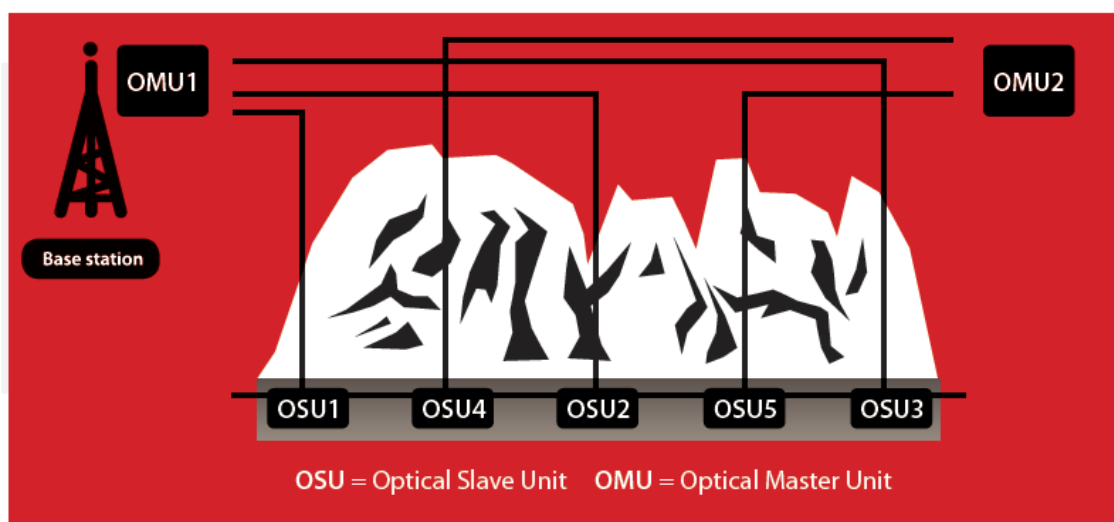
8.1 Toistin

Toistin on sisäpeittoantenniverkon aktiivilaite. Laitetta joudutaan käyttämään vahvistamaan maanpäällisen verkon signaalia. Sisäpeittoverkko voidaan toteuttaa myös passiivisilla komponenteilla, mutta tämä ei toimi isommissa rakennelmissa. Niin sanotun normaalitehoisen aktiivilaitteen tilaa ja toimittaa Suomen Erillisverkot Oy. Tarkempaa maksimitehoa ja vahvistusta ei ole yleisesti verkossa jaossa. Mikäli rakennus tai tunneli on

niin suuri, ettei tämä riitä, joutuu rakennuksen omistaja tilaamaan tehokkaamman laitteen ja tällöin myös kustannukset ohjautuvat omistajalle. [1; 31, s. 4.]

Toistimia löytyy useampaan eri tarkoitukseen. Esimerkiksi Creowave Oy:llä on kuusi erityyppistä TETRA-toistinta. Nämä kuusi ovat kaistaselektiivinen-, kanavaselektiivinen-, ATEX-, taajuuttavaihtava-, optinen- ja digitaalinen TETRA-toistin. Creowaven toistimet kykenevät vahvistamaan 70 – 85 dB:n verran signaalia ja suurin ulostuloteho toistimissa on 17 dBm tai 36 dBm. [58.]

Kaistaselektiivinen toistin on tarkoitettu pieniin ja keskisuuriin sisä- ja ulkotiloihin vahvistaa koko viranomaisverkon taajuusalueen. Toistinta voidaan myös etähallita verkon ylitse ja se on nopea asentaa. Toisena on kanavaselektiivinen-toistin, joka mahdollistaa eri verkkojen tarkemman hallinnan operaattoreiden tehon suhteen. ATEX-toistin on samanlainen kuin kaistaselektiivinen, mutta se on tarkoitettu räjähdysvaarallisiin tiloihin, kuten öljynporauslautalle. Taajuuttavaihtava-toistin soveltuu parhaiten laajoihin ulkotiloihin ja tämän takia en keskity siihen enempää. Optinen TETRA-toistin on parhaimmillaan tunneleissa. Tällä toistintyyppillä voidaan jakaa tunneli kahden toistimen avulla useampaan eri osaan, eli toistin 1 syöttää osat 1,3 ja 5, kun toistin 2 syöttää signaalia tunnelin osiin 2,4 ja 6. Kuva 13 selventää tapausta paremmin. Myös digitaalinen TETRA-toistin soveltuu tunnelikäyttöön. Tämä tosin tarvitsee ainoastaan kaksi lähetintä tunnelin suuaukoille, jotta maanpäällinen signaali voidaan vastaanottaa ja lähettää tunneliin. [58.]



Kuva 13. Optisen TETRA-toistimen periaatekuva [58].

8.2 Liitäntäyksiköt

Liitäntäyksikkölaite tunnetaan myös nimellä combiner box. Tämä toimii eri operaattoreiden tai palveluiden sekä taajuusalueiden signaalien jakajana ja yhdistäjänä. Yksikössä on yleensä useampi antenniverkon tulo ja lähtö, joista tyypillisesti haaroitetaan signaali eri kerroksiin. [16.]

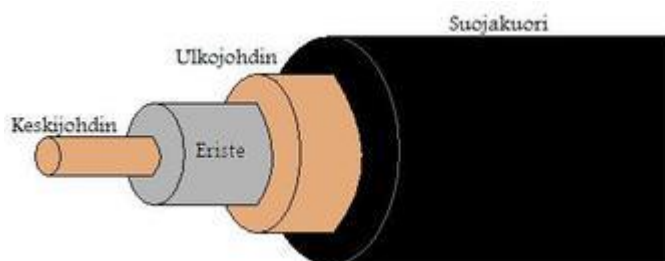


Kuva 14. Microlabin valmistama combiner box [32].

Kuvassa 14 on Microlabin combiner box. Microlabilta löytyy valmiita paketteja, joissa on sisäänrakennettu summain ja hybridi, eli esimerkiksi kaksi matalan ja kaksi korkean taajuuden sisääntuloa voidaan yhdistää kahdeksi samanlaiseksi ulostuloksi. Näin usean operaattorin signaalit saadaan jaettua samoilla kaapeleilla rakennuksen tai tunnelin eri osiin. [32.]

8.3 Kaapelit

8.3.1 Koaksiaalikaapeli



Kuva 15. Koaksiaalikaapelin rakenne [33].

Koaksiaalikaapeli on radiotekniikassa käytetty kaapeli signaalin kuljettamiseen. Sen tyyppillinen rakenne on esitetty kuvassa 15. Kaapelin paksuus ilmoitetaan tuumissa. Yleisimmät tyypit ovat pienimmillään $\frac{1}{4}$ " ja suurimmat $1 \frac{5}{8}$ ". Yksi tärkeimmistä asioista kaapelia valittaessa on valita sisätiloihin sopiva halogeeniton kaapeli mahdollisimman pienellä häviöllä, joka on kuitenkin helppo asentaa. Suoraan vaimentumia katsomalla valittaisiin aina paksuin kaapeli, mutta jo hinnan puolesta se ei ole perusteltavaa. Lisäksi paino ja pienin taivutussäde kasvavat paksummassa kaapelissa. Tästä myöhemmin lisää osiossa 8.3, jossa on eritelty hieman tarkemmin vaatimuksia verkon suunnitteluun. Liitteinä 2 ja 3 on Draka-nimisen yrityksen kaksi eri paksuista koaksiaalikaapelia, joita käsittelen myöhemmin tarkemmin.

Koaksiaalikaapelin vaimentuminen kasvaa taajuuden ja lämpötilan noustessa. Sen vaimennus ilmoitetaan yleensä $+20$ asteen lämpötilassa. Jokainen aste nostaa vaimennusta $0,2$ %. [29, s. 82.]

8.3.2 Säteilevä kaapeli

Säteileviä kaapeleita käytetään antennina tunneleissa ja sisäpeittoantenniverkoissa esimerkiksi pitkissä käytävissä. Kaapeleita on ulkokäyttöön UV-suojattuja PE-vaippaisia ja sisäkäyttöön halogeenittomia LSZH-vaippaisia versioita. [34.] Kuvassa 16 on eri tavoin rei'itettyjä säteileviä kaapeleita.



Kuva 16. Erilaisia säteileviä kaapeleita [34].

Näitä kutsutaan myös virheellisesti vuotaviksi kaapeleiksi. Vuoto on epätoivottu ominaisuus ja tämän vuoksi niitä kutsutaan säteileviksi, sillä sitä niiden tahdotaan tekevän. Kaapeleita löytyy myös erilaisilla rei'illä, joista säteily tapahtuu. [34.]

8.3.3 Korrugoitu kaapeli

Korrugoituja, eli englanniksi coupling, RF-kaapeleita käytetään tukiasemasovelluksissa ja sisäpeittoantenniverkoissa. Koska antennisignaali saattaa kulkea pitkiäkin matkoja verkossa, vaimennuksen pitämiseksi alhaisena runkokaapeleina käytetään korrugoituja kaapeleita, tavallisesti läpimitaltaan 1/2", 7/8" tai 1 5/8". Korrugointi mahdollistaa kaapelin taivuttamisen. [35.] Kaapelin vaimennuksen on myös oltava pienempi kuin antennin vahvistuksen [36, s. 7].

Korrugoitua kaapelia käytetään myös säteilevänä antennikaapelina tekemällä aukotuksia kaapelin vaippaan. Säteilevän antennikaapelin vaippa voi olla myös valmistettu kierretystä foliosta, johon on tehty määrävälein aukotuksia. [35.]

Kaapeleihin sopivat liittimet ovat 7/16 ja N (naaras ja uros). Erityisesti säteilevää kaapelia ei voida asentaa suoraan kiinni kattoon, vaan tähän tarkoitukseen suunnitelluilla kiinnikkeillä kaapeli sijoitetaan riittävälle etäisyydelle katosta tai kaapelihyllystä. Näin varmistetaan kaapelin oikea säteilykuvio. [35.]

8.3.4 RF-jumpprikaapelit

Jumpprikaapeli eli RF-hyppykaapeli on korrugoitua kaapelia, joka ohuempana ja taipuisampana sopii käytettäväksi antennien, tehojakajien yms. liittämiseen runkokaapeliin. Jumppereita käytetään myös tukiasemasovelluksissa radioyksiköiden ja antennien välillä. Yleisin erittäin taipuisa jumpprikaapeli on läpimitaltaan 1/2". [34.]

8.4 Korrugoidun kaapelin kiinnikkeet

Kaapelikiinnikkeiden erilaiset mallit soveltuvat kaapelin kiinnitykseen vaijeriin, kattoon, tunneliin, seinään ja kaapelihyllyyn. Klipsillisillä kiinnikkeillä kaapelien asentaminen on nopeaa ja helppoa. Muovisia kaapelikiinnikkeitä käytettäessä tulee asentaa paloturvallisuuden vuoksi määrävälein metallisia kiinnikkeitä. [37.] Asennusväli kiinnikkeillä on tavallisesti 1–1,5 metriä ja joka neljäs kiinnike on oltava palonkestävä [1]. Kuvassa 17 on esitetty yksi tapa asentaa koaksiaalikaapeli kattoon kiinnikkeiden avulla.



Kuva 17. RF-kaapeli asennettu kiinnikkeillä kattoon [1].

8.5 Diplexeri

Diplexeri yhdistää kahden eri taajuusalueen signaalit yhteen lähtöön. Vaimennus läpimenevää signaalia kohtaan on hyvin vähäistä ja se erottaa tehokkaasti eri taajuusalueen signaalit toisistaan. On myös mahdollista yhdistää useampia taajuuksia, kuten kolme tai neljä taajuusaluetta. Tällöin niitä kutsutaan triplexeriksi ja quadrapleriksi, mutta periaate on sama. [16.] Seuraavana kuvassa 18 on esitetty diplexeri.



Kuva 18. 7/16 DIN -liittimin varustettu Diplexer taajuuksille 80–960 MHz ja 1710–2700 MHz [16].

8.6 Tehonjakajat

8.6.1 Symmetrinen tehonjakaja

Komponentin avulla RF-signaali voidaan jakaa symmetrisesti kahteen (1:2), kolmeen (1:3) tai neljään (1:4) haaraan. Tyypillisesti symmetristä tehonjakajaa käytetään, kun halutaan saman tehoinen signaali esimerkiksi rakennuksen eri kerroksiin. [38.]

8.6.2 Epäsymmetriset tehonjakajat

Epäsymmetrinen tehonjakaja nimensä mukaisesti jakaa signaalin eri suhteessa eri lähtöihin. Pienempi osa jaetaan tyypillisesti antennille ja suurempi osa jatkaa matkaansa kauempana olevalle antennille. Luku 4:1/6dB kertoo tehonjaon, joka on tässä tapauksessa 4:1 eli 6dB. Jälkimmäinen luku -1,0/7,0 kertoo läpimenevän signaalin vaimennuksen (-1dB) ja haaroitettun signaalin vaimennuksen (-7dB) tulosaaliin nähden. [38.] Epäsymmetristä tehonjakajaa käytetään tyypillisesti jakamaan tehoa laajoihin tiloihin syöttäviin antenneihin ja vastaavasti pienempiin tiloihin, esimerkiksi hissikuiluihin, jaetaan pienempi teho [1]. Kuvassa 19 on epäsymmetrinen tehonjakaja.



Kuva 19. Epäsymmetrinen tehonjakaja [16].

8.7 Hybridi

Hybridit summaavat sisään tulevat signaalit, joita on tavallisesti kahdesta neljään. Nämä summatut signaalit jaetaan kaikkiin lähtöihin. Signaalit voivat olla eri taajuusalueella tai samalla taajuudella. Tyypillinen käyttökohde on useiden operaattorien yhdistäminen samaan verkkoon. [16.]

8.8 Antennit

Sisäpeittoverkon antenneinea käytetään tyypillisesti kolmen eri tyypin antennoja, joita ovat ympärisäteilevät antennit, suunta-antennit ja säteilevät kaapelit. Antennin tyyppi valitaan sijoituspaikan perusteella.

Pitkään tunneliin säteilevä kaapeli on paras ratkaisu. Säteilevä kaapelia voidaan asentaa koko tunnelialueelle ja täten signaali kattaa kaikki alueet. Ympärisäteilevä antenni ei tällaiseen sovellu, sillä tehoa syötettäisiin tällöin myös seinän suuntiin. Vaikka viranomaisverkon taajuus on matala, ei sekään kantaudu kovin hyvin kallion lävitse. Myöhemmin luvussa 9.5.2 käsitellään tarkemmin signaalien vaimenemista eri materiaaleissa.

Suunta-antennia voidaan käyttää myös isoon tilaan, kun halutaan kohdistaa signaali tarkasti. Tällöin myös antenni voidaan mahdollisesti sijoittaa turvallisempaan paikkaan rakennuksen nurkkaan toisin kuin ympärisäteilevä, joka keilansa puolesta kannattaa olla mahdollisimman keskellä tilaa.

Liitteenä 4 on HUBER+SUHNER-nimisen yrityksen ympärisäteilevän antennin tuotekortti. Tästä havaitaan myös sen vahvistuksen vaihtelu eri taajuuksilla. Pienimmillään se on viranomaisverkontaajuudella ja suurimmillaan taajuuden ollessa yli 5,5 GHz. Tämä on huomioitava suunniteltaessa sisäpeittoverkkoa, jossa toimii usea operaattori. Kuten tuotekortista voi havaita, pystyy antennilla jakamaan useamman eri taajuusalueen verkkoja kerralla, eli jokaiselle eri operaattorille ei tarvita omaa antennia. Kuvassa 20 on esitetty liitteen 4 antenni.



Kuva 20. HUBER+SUHNER ympärisäteilevä sisäpeittoantenni [16].

8.9 Päätevastus

Päätevastus toimii keinokuormana verkossa. Sitä käytetään sovittamaan käyttämättömät RF-liitynnät ominaisimpedanssiin, joka on normaalisti 50 ohmia. Huomioitavaa on myös vaikuttava RF-tehotaso. Tämä voi olla korkea, jos liitynnässä vaikuttaa usean operaattorin signaalit. [16.]

Pääte valitaan signaalitehon mukaan. Esimerkiksi Orbis Oy:n verkkosivuilla yritys kategorioi kolmeen eri kategoriaan päätteet: pienitehoiset, keskitehoiset ja suurtehoiset. N-

sarjan liittimiä löytyy pien- ja keskitehoisena 60 W:iin asti kun DIN 7/16 liittimiä jopa 250watin tehonkestoon asti. Koska matkapuhelinverkko ja etenkin virve-verkko toimivat suhteellisen pienillä taajuuksilla, ei välttämättä tarvitse huomioida korkeinta toimintataajuutta. [39.] Kannattaa kuitenkin suunnitelmassa huomioida tulevaisuuden mahdollisuudet, sillä esimerkiksi WLAN-verkko voidaan toteuttaa myös 60 GHz:n taajuudella [40].

Signaalitehon määrittäminen on yksinkertainen laskea ja tällä tavoin valita oikea komponentti järjestelmään. Samalla tavalla kuin antennille tuleva teho lasketaan myöhemmin, voidaan laskea, kuinka paljon ylimääräisenä oleva lähtö syöttäisi esimerkiksi mahdolliselle antennille tehoa. Kuvitellaan tilanne, jossa on symmetrinen yhden sisääntulon ja kahden ulostulon jaotin. Näistä toiseen kytketään antenni ja toinen jätetään tulevaisuutta ajatellen vapaaksi. Tämä pitää sovittaa asentamalla päätevastus tähän. Mikäli päätevastus jätetään asentamatta jaottimen vapaaseen lähtöön, on muu verkko epäsovitettu järjestelmään, mikä aiheuttaen heijastumisia ja VSWR-arvon kasvamista ja siten mahdollisia vaimentumia signaalissa. Jos jaottimen sisääntulosignaalin voimakkuus on esimerkiksi 32 dBm ja vaimentuminen häviöineen on 3,5 dB per haara, saadaan ulostuloiksi 28,5 dBm. Tämä 28,5 dBm on watteina 0,71W per lähtö. Tähän valitaan sopivan kokoinen esimerkiksi yhden watin ja 50 ohmin pääte. [41.] Alla kuvassa 21 HUBER+SUHNER-nimisen yrityksen 1 W:n, uros, N-kantainen ja 50 ohmin päätevastus.



Kuva 21. Yhden watin päätevastus [42].

8.10 DC-erotin

DC-erottimia käytetään DC-potentiaalin erottamiseen antenniverkon eri osissa. RF-signaali läpäisee erottimen lähes vaimentumatta. Näitä on kahta eri tyyppiä: DC-erotin, jossa ainoastaan sisäjohtin erotetaan ja DC/DC-erotin, jossa sekä sisäjohtin että ulko-vaippa on erotettu. [16.] Kuvassa 22 on DC-erotin.



Kuva 22. DC-erotin [16].

8.11 Adapterit

Radiotekniikassa käytettyjä adaptereita on hyvin monenlaisia. Koska pääsääntöisesti sisäpeittoverkoissa käytetään 7/16 DIN tai N-liittimiä, keskitytään vain näihin kahteen.

Liittimistä on suositeltavaa katsoa sen sähköisiä ja mekaanisia ominaisuuksia näitä vertailtaessa. Tärkeintä on oikea impedanssi oikeaan tarkoitukseen. Sisäverkkojen tapauksessa se on tyypillisesti 50 ohmia. Lisäksi sähköisistä ominaisuuksista merkittävä on insertion loss eli liitinhäviö, joka ikään kuin jää adapteriin. Kuten muissakin komponenteissa, ilmoitetaan adaptereillekin VSWR-arvo. Tarkastellaan yhtä adapteria, joka alla olevassa taulukossa 6 on esitetty.

Taulukko 6. Adapterin sähköiset ja mekaaniset ominaisuudet [43].

Sähköiset ominaisuudet

Impedanssi	50 ohmia
Toimintataajuudet	DC-7,5 GHz
Toimintajännite	1000 RMS
Hetkellinen jännite	2500V RMS
Insertion loss eli häviöt adapterissa	<0,24 dB/3 GHz
VSWR	<1.2:1/6 GHz

Mekaaniset ominaisuudet

Rungon materiaali	Messinki
Rungon päällyste	Nikkeli
Keskihahlo	Beryllium-kupari
Keskihahlon päällyste	Kulta
Eriste	PTFE
Käyttölämpötila	-55 ... +155 astetta

Alla olevassa kuvassa 23 on esimerkki N-kantaisesta adapterista, joka muunnetaan 7/16 DIN-kantaiseksi.



Kuva 23. N - naaras 7/16 DIN naaras adapteri [43].

8.12 Liittimet

Liittimien tehtävä on kiinnittää luotettavasti eri komponentit yhteen. Sisäpeittoverkoissa käytetään tyypillisesti 7/16- ja N-liittimiä. Alla oleva kuva 24 havainnollistaa paremmin liittimien fyysisiä mittoja. Työssä ei käsitellä tarkemmin 4.1/9.5-liittintä, koska tämä ei ole sisäpeittoverkoissa yleisesti käytössä.



Kuva 24. Liittimien fyysisiä kokoeroja [44].

8.12.1 7/16 DIN-liitin

Ammattikäytössä 7/16 DIN-liitin on yleisesti ottaen syrjäyttänyt N-liittimen. [44]. Liitin on suunniteltu isoille tehoille ja se toimii poikkeuksetta hyvin monikanavaisella matkapuhelinjärjestelmällä [45]. Se on N-liittimeen nähden kokonsa puolesta parempi vaihtoehto isommille kaapelityypeille kuten 7/8" ja se on mekaanisesti kestävämpi kuin N-liitin. Liittimen keskikontaktin koko ja liitospinta-ala ovat isommat, mikä lisää liittimen luotettavuutta. [44.]

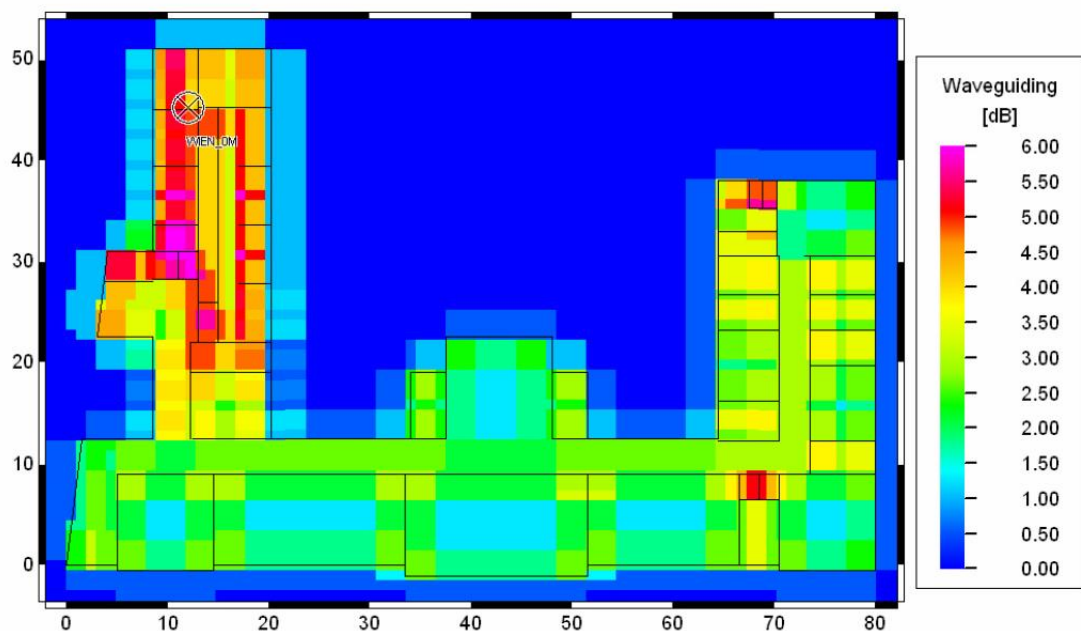
Kuten muissakin komponenteissa, täytyy liittimissäkin huomioida hyvä PIM-arvo eli luekeman tulee olla pieni. Esimerkiksi yritys nimeltä Shining lupaa liittimilleen PIM-arvon olevan <-155 dBC. Valmistaja lupaa myös VSWR-arvon olevan maksimissaan <1,3 (suora-liitin, straight connector) tai <1,5 (kulma-liitin, right angle connector). Korkein sallittu käyttötaajuus on 4 GHz. [45.]

Vertailun vuoksi tarkasteltiin toisen valmistajan 7/16 DIN-liittimien VSWR-arvot, jotka olivat $<1,2$ (suora-liitin, straight connector) ja $<1,35$ (kulma-liitin, right angle connector). Myös korkein sallittu käyttötaajuus on 6 GHz. [46]

8.12.2 N-liitin

N-liitin soveltuu paremmin pienemmille kaapeleille fyysisen kokonsa vuoksi [44]. Työssä tarkasteltiin Shining-nimisen yrityksen sivuilta myös N-liittimen PIM- ja VSWR-arvot. Nämä olivat sivujen perusteella identtiset 7/16 DIN-liittimien kanssa. Liittimen korkein sallittu käyttötaajuus on N-liittimellä 10 GHz. [45.]

Eräässä yliopistossa on mitattu waveguide eli aaltoputki-arvo desibeleinä. Kuvasta 25 saa hieman käsitystä mitä se voi olla. Tilanteesta riippuen arvot voivat heitellä huomattavasti enemmän. Selvästi antennin luona, missä seinät ovat lähellä, vaimennus on suuri. [47, s.2.] Tämä ilmiö on yleensä kuitenkin suuremmille taajuuksille kuin virve-taajuudelle. Siksi sen vaimennusta ei käytetä myöhemmissä laskuissa. [48.]



Kuva 25. Aaltoputki-ilmiö mitattu erästä yliopistorakennuksesta [47, s. 2].

9 Suunnittelu

9.1 Alkukartoitus

Suunnittelu lähtee käyntiin lähtötietojen hankkimisesta. Jos kyseessä on uusi rakennus, voidaan kohteen paikalla käydä mittaamassa ulkoverkon signaalivoimakkuudet. Tästä saadaan hieman tietoa siitä, kuinka hyvin ulkoverkko voisi kantautua sisätiloihin. [49.] Lopulliset mittaukset sisätilojen signaaleista voidaan tehdä vasta, kun rakennuksen ulkokuori on kiinni [1].

Pienen kohteen sisäverkko voi olla tarpeeton rakentaa, jos signaali kantaa sisätiloihin. Isoissa kohteissa, kuten kauppakeskuksissa, tarvitaan todennäköisesti aina sisäpeittoverkko, sillä nykyiset rakennusmääräykset tekevät niistä ns. faradayn häkkeitä. [49.]

Rakennuslupavaiheessa kiinteistölle kannattaa tehdä riskianalyysi, jossa kartoitetaan virve-verkon tarpeellisuus kiinteistössä. Tämän tekee pelastusviranomainen, joka voi myös määrätä sisäpeittoverkon toteuttamisen rakennusluvan ehdoksi. Sisäpeittojärjestelmää kannattaa myös pohtia siinäkin tilanteessa, vaikka pelastusviranomainen ei sitä vaadi, sillä jälkeinpäin voidaan todeta sen tarpeellisuus ja tällöin sen rakentaminen on huomattavasti kalliimpaa. [31, s.2.] Liitteenä 1 on L1-lomake viranomaisverkon tarvekartoituksesta.

Erillisverkkojen esimerkkejä, milloin VIRVE-palveluita ei saavuteta ulkopuolisella verkolla:

- Rakennus on hyvin laaja.
- Rakennuksessa on maanalaisia tiloja.
- Rakennuksessa on paljon väliseiniä tai eritiloja.
- Rakennusmateriaalit ovat hyvin eristäviä.
- Alueella on heikko ulkopeitto.

[31, s. 1.]

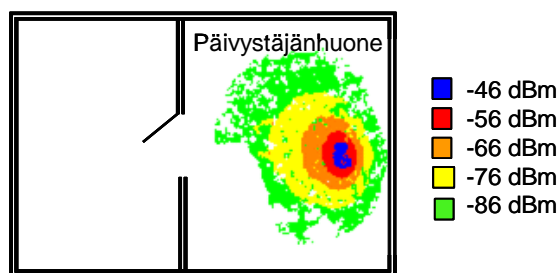
9.2 Aktiivinen ja passiivinen järjestelmä

Sisäpeittoverkon tarkoituksena on siis saada ulkona vallitseva signaali sisätiloihin teknisin keinoin, mikäli signaali on liian heikko muutoin. Tämän vuoksi on aluksi selvitetävä, soveltuuko kohteeseen passiivinen vai aktiivinen järjestelmä.

9.2.1 Passiivinen sisäpeittoverkko

Passiivinen järjestelmä nimensä mukaisesti ei sisällä mitään sähköverkkoon liitettävää laitetta, ja näin ollen vahvistus on oleellisesti heikompi kuin aktiivisessa. Tästä syystä se ei yleensä sovellu kuin hyvin pieniin kohteisiin. Lisäksi ulkona rakennuksen vieressä täytyy olla voimakas signaali, jotta sisälle saadaan siirrettyä riittävä signaali. Siirtotien laatu vaikuttaa suoraan myös sisälle saatavan signaalin voimakkuuteen. [50, s.9.] Etuna aktiiviseen sisäpeittoverkkoon verrattuna on sen vapaa toteutus, sillä se ei vaadi erillisiä lupia [36, s. 4].

Seuraavassa kuvassa 26 on esitetty esimerkki passiivisen toistimen peittoalueesta. Aktiivilaittein varustettu järjestelmä kykenisi vahvistimen gain-arvon mukaan vahvistamaan -46 dBm:n signaalin esimerkiksi 1 dBm:iin asti, mutta vaimentuminen sisätiloissa on kuitenkin täysin samanlaista kuin passiivisella toistimella.



Kuva 26. Passiivisen sisäverkon peittoalue [31, s. 5].

9.2.2 Aktiivinen sisäpeittoverkko

Aktiivinen eroaa passiivisesta järjestelmästä siten, että se sisältää jonkin tehoa syöttävän yksikön. Täten on mahdollista tehdä niin iso sisäverkko kuin halutaan, sillä antennien tehoa ja lukumäärää voidaan tarpeen vaatiessa lisätä rajattomasti. Toki systeemi monimutkaistuu komponenttien lukumäärän kasvaessa. Tämä vaihtoehto on luvanvarainen

ja näin ollen tulee kysymykseen yleensä vain suurissa kohteissa, kuten kauppakeskuksissa. [36, s. 4-5.]

Mikäli kohteeseen asennetaan pysyvästi toistin, on huomioitava myös sen mahdollisuus etähallintaan. Suomen Erillisverkot Oy haluaa jokaisen tällaisen toistimen verkonhallinnan valvontaan. Tämä toteutetaan GSM-liittymän kautta, johon toistimessa on oltava valmius. Mikäli toistimen oma antenni ei riitä vastaanottamaan ja lähettämään GSM-signaalia, on tilaajan huolehdittava tarvittavan ulkoantenniyhteyden muodostamisesta. [6, s. 6.]

9.3 Vaatimuksia

Viranomaisverkon sisäpeittoverkko on tarkoitus saada toimimaan vähintään -86 dBm:n signaaliteholla 90 % alueesta, johon verkko rakennetaan. Täysin jokaisessa huoneen nurkassa arvon ei ole välttämätöntä ylittää äsken mainittua signaalitehoa. Kuitenkin kaikissa kriittisimmissä paikoissa, kuten rakennuksen poistumisreiteillä, tulee verkon toimia. [1.]

Tilaajan budjetin suuruus vaikuttaa verkon rakentamiseen, sillä RF-kaapelin paksuus vaikuttaa suoraan hintaan. Paksumpi kaapeli aiheuttaa vaimentumia vähemmän, mutta sen taivutussäde voi kohteesta riippuen olla liian suuri. Alla taulukossa 7 on kaksi esimerkkiä koaksiaalikaapelin ominaisuuksista, kun paksuus vaihtelee. [51.]

Taulukko 7. Kahden eri paksuisen koaksiaalikaapeleiden ominaisuuksien vertailu.

	RFA 7/8"	RFA 1 5/8"	Yksikkö
Hetkellinen maksimi RF jännite	3,3	5,7	kV
Hetkellinen maksimi teho	92	314	kW
Impedanssi	50 +/- 1	50 +/- 1	ohm
Kapasitanssi	74,2	74	pF/m
Käyttölämpötila	-55 ... +85	-55 ... +80	aste
Maksimi taajuus	5100	2800	MHz
Maksimi teho	4	7,8	kW
Paino	0,45	1,16	kg/m
Pienin taivutussäde, toistuva	240	400	mm
Pienin taivutussäde, yksi kerta	120	200	mm
Puristuskestävyys	1,6	3,1	kg/mm
Signaalin nopeuskerroin	0,9	0,89	-
Suositeltu kannakeväli	1	1	m
Taivutusmomentti	15	45	Nm
Tasavirtavastus, sisäjohtin	1,28	1,16	ohm/km
Tasavirtavastus, ulkojohtin	1,15	0,43	ohm/km
Ulkohalkaisija	28	50	mm
Vaimentuminen	2,29	1,36	dB/100m @ 400 Mhz

Työssä tarkasteltiin Taloon.com-sivulla RFA 7/8"-50-koaksiaalikaapelin hintaa, joka oli 7,52 € - 10,97 € per metri ja RFA 1 5/8"-50-koaksiaalikaapelin hintaa, joka oli 21,58 € per metri [52]. Liitteinä 2 ja 3 ovat valmistajan tuotekortit molemmille kaapeleille.

Oskillointia ei saa tapahtua, eli antennia tai säteilevää kaapelia ei saa asentaa liian lähelle seinää, sillä ulkopuolelta tuleva virve- tai matkapuhelinverkon signaali saattaa häiritä sisäpeittoverkon signaalia. Liian voimakas maanpäällinen signaali voi tulla eri vaiheessa vahvistaen tai heikentäen sisällä olevaa signaalia. Oskilloinnin vuoksi esimerkiksi hissikuiluun sijoitettavan kaapeloinnin on oltava riittävän etäällä katosta. [53.]

Ongelmia aiheutuu myös jonkin verran, mikäli virve- ja gsm-signaaleita jaetaan samalla kaapelilla. Eräässä parkkihallissa havaittiin ongelmia kuuluvuuksissa, mikä näkyi puheluiden pätkimisenä. Ensimmäiseksi ratkaisuksi kokeiltiin tehokkaampaa toistinta, joka paransi tilannetta jonkin verran. Havaittiin kuitenkin, että edelleen 900 MHz:n 3G-verkko aiheuttaa häiriöitä muille taajuuksille. Tämän signaalin tehot mitattiin tasolle -70 dBm, joten yksi ratkaisu voisi olla tehon pienentäminen, sillä verkko on tuolla signaalitasolla hyvin voimakas. Tehon pienennyksen pitäisi heikentää myös häiriöitä ja näin ollen muut verkon signaalit voisivat toimia normaalisti. Mikäli komponenttien isolointi arvo on desi-

beleinä liian pieni, vaikuttaa eri bandien eli taajuusalueiden signaalit toisiinsa. Yksi ratkaisu olisi voinut olla komponenttien vaihto paremmin eri taajuuksia eristäviin komponentteihin. [1.]

Viranomaisverkon kentänvoimakkuus pitää olla kiinteistön sisätiloissa vähintään -86 dBm. Laitetilan sijoittelussa huomioitavaa on myös sen suojaisa paikka ilkeivallalta ja hyvin usein viranomaisverkon toistimen tehonsyöttö varmistetaan UPS-laitteistolla. Laitetilan sijoituksessa on ottaa huomioon myös mahdollisten operaattoreiden pääsy tilaan. [1; 31, s. 2.]

9.4 Linkkibudjetti

Linkkibudjetti on tärkeä osa suunnittelua, ja se on yksinkertaisuudessaan tällainen:

Linkkibudjetti = Lähetetty teho – vastaanottimen herkkyyks + antennin vahvistus – häviöt

Mikäli linkkibudjetti menee miinukselle, ei signaalin teho riitä päätelaitetta varten, ja tällöin se ei palvele tarkoitustaan, eli se ei toimi. [54, s. 2.]

9.5 Vaimennukset sisäpeittoverkossa

9.5.1 Komponenteissa tapahtuva vaimennus

Kun etäisyydet on saatu selville, pyritään jakamaan vaimennus tasaisesti kaikille antennille. Jos etäisyys antennille nro 2 on kaksi kertaa pidempi kuin antennille 1, voidaan käyttää signaalin haaroittamisen epäsymmetristä tehonjakajaa, joka jakaa nimensä mukaisesti eri suhteella tehoa antennille. Lähempänä olevalle antennille vaimennetaan signaalia enemmän kuin kauimmaiselle.

Seuraavaksi esimerkki kuinka vaimennus komponenteissa lasketaan. Taulukossa 8 ei huomioida mahdollista vahvistusta ulkoantennissa.

Taulukko 8. Vaimennuslaskelmat ulkoantennilta sisäpeittoverkon antennille.

Nimi	Tyyppi	Häiriö/vahvistus	Yksikkö	Matka (m)	Häviö/Vahvistus valmistajalta
Lähtöteho		-60	dBm	-	
Häviö liittimessä (Antenni - Kaapeli)		2	dB	-	0,063
Kaapelihäviö ulkoantennilta tehonjakajalle	Draka RFA 1 5/8"	0,966	dB	70	1,38 dB/100m @ 400 MHz
Häviö liittimessä (Kaapeli - Tehonjakaja)		0,63	dB	-	0,063
Tehonjakajan signaalinvahvistus	Creowave Kaistaselektiivinen TETRA-toistin	70	dB	-	70 dB
Häviö liittimessä (Tehonjakaja - kaapeli)		0,63	dB	-	0,063
Kaapelihäviö tehonjakajalta jaottimelle	Draka RFA 7/8"	0,229	dB	10	2,29 dB/100m @ 400 MHz
Häviö liittimessä (Kaapeli - jaotin)		0,63	dB	-	0,063
Symmetrisen jaottimen häviö 1:2	DM02B	3,7	dB	-	3,7 dB
Häviö liittimessä (Jaotin - Kaapeli)		0,63	dB	-	0,063
Kaapelihäviö jaotimelta haaroittimelle	Draka RFA 7/8"	0,8015	dB	35	2,29 dB/100m @ 400 MHz
Häviö liittimessä (Haaroitin - kaapeli)		0,63	dB	-	0,063
Epäsymmetrisen haaroittimen häviö	DN-34FC	4,8	dB	-	Päähaara 1,8 dB, sivuhaara 4,8 dB
Häviö liittimessä (Kaapeli - antenni)		0,63	dB	-	0,063
Kaapelihäviö haaroittimelta antennille	Ohut verrokki-kaapeli 1/4"	0,075	dB	2	3,75 dB/100m @ 450 MHz
Antennin signaalinvahvistus	SWA-0459/360/4/25/V_1	3,5	dB	-	3,5 dB @ 380 - 560 MHz
Komponenttien ja liitosten häviöt		16,35	dB		
Antennilta lähtevä teho		-2,85	dBm		

Kaikkien kaapeleiden ja komponenttien häviöt saadaan valmistajilta. Kaikki muut tiedot löytyivät helposti, mutta haaroittimelta antennille menevää jumpperi kaapelin häviöitä en löytänyt. Käytin vertailun vuoksi 1/4" koaksiaalikaapelia, sillä matka on niin lyhyt, ettei tällä ole kuitenkaan kovinkaan suurta merkitystä kokonaisuuden kannalta.

9.5.2 Ilmassa ja seinissä tapahtuva vaimennus

Eri materiaalit vaimentavat VIRVE-signaalia eri verran. Alle on koottu taulukko 9, jossa esitetään radiosignaalin keskimääräisestä vaimennuksesta desibeleinä. Lista soveltuu vain virve-taajuuksille.

Taulukko 9. Eri materiaalien vaimennuksia virve-taajuuksilla [31, s. 2].

Rakennusmateriaali	Keskimääräinen vaimennus (dB)
Puu	alle 10
Betoni (seinän paksuus alle 1m)	10 - 15
Kivi (Seinän paksuus noin 1m)	15 - 20
Tiili (seinän paksuus noin 1m)	15 - 20
Teräsbetoni	30

Lisäksi alla on hieman kattavampi taulukko 10, jossa on huomiotuna myös muita taajuuksia kuin vain viranomaisverkon taajuus. Vaimentuminen kasvaa taajuuden suhteen, joten vaimentumia taajuudella 500 MHz voi melko hyvin käyttää myös viranomaisverkon taajuudelle.

Taulukko 10. Eri materiaalien vaimennuksia eri taajuuksilla [55, s. 9].

Taajuus [MHz]/ Läpäisyvaimennus [dB]	500	1000	2000	3500	5000
Tiili (180 mm)	4	5.5	8	20	32
Tiili (180 mm) ja betonielementti (203 mm)	21	25	33	60	67
Tiili (180 mm) ja kevytlekaharkko	8	11	10	29	33
Betonielementti (208 mm)	20	23	29	47	49
Kevytlekaharkko (2 x 203 mm)	13	17	18	25	28
Raudoitettu betonielementti (203mm) 140 x 140 mm	22	28	31	50	53
Raudoitettu betonielementti (203 mm) 70 x 70 mm	26	30	37	53	58
Ikkunalasi (13 mm)	1	2	3	0.5	0.5
Kuiva puu (38 mm)	2	3	3	3	3
Kuiva puu (152 mm)	5	6	9	19	20

9.5.3 Vapaan tilan malli eli free path loss

$$PathLoss(r) := 20 * \log\left(\frac{4 * \pi * r}{\lambda}\right)$$

λ on käytettävä aallonpituus metreinä
 r on matka kohteeseen metreinä.

Seuraavaksi lasketaan esimerkkilasku vapaan tilan vaimennuksesta, kun matka on 50 metriä ja käytettävä taajuus 400 MHz.

$$PathLoss(r) := 20 * \log\left(\frac{4 * \pi * 50}{0,75}\right) = 58,46 \text{ dB}$$

9.5.4 Indoor office environment path loss

$$Path Loss (L) = L_0 + 10 * n * \log(r) + \sum_{j=1}^J N_{w_j} * L_{w_j} + \sum_{i=1}^I N_{f_i} * L_{f_i}$$

r on matka kohteeseen

N_f on läpäistävien seinien lukumäärä

N_w on läpäistävien lattioiden lukumäärä

N_f on läpäistävien seinien vaimennus desibeleinä.

L_f on läpäistävien lattioiden vaimennus desibeleinä. L_0 on vaimennus referenssipisteessä, eli vapaan tilan vaimennus 1 metrin etäisyydellä. Taajuudella 400 MHz se on 24,48 dB. n on vaimennuskertoimen, joka riippuu tilan luonteesta. Eri kertoimien suuruudet selviävät taulukosta 11.

Taulukko 11. Indoor Office Path loss mallin vaimennuskertoimia taulukoitu erilaisista rakennuksista [56, s. 48].

Building	Frequency [MHz]	n	σ [dB]
Retail stores	914	2.2	8.7
Grocery store	914	1.8	5.2
Office, hard partition	1500	3.0	7.0
Office, soft partition	900	2.4	9.6
Office, soft partition	1900	2.6	14.1
<i>Factory LOS^a</i>			
Textile/chemical	1300	2.0	3.0
Textile/chemical	4000	2.1	7.0
Paper/cereals	1300	1.8	6.0
Metalworking	1300	1.6	5.8
<i>Suburban home</i>			
Indoor to street	900	3.0	7.0
<i>Factory OBS^b</i>			
Textile/chemical	4000	2.1	9.7
Metalworking	1300	3.3	6.8

^aLOS – Line-of-sight. ^bOBS – obstructed sight.

Laskettaessa vaimennus samaan kerrokseen, jossa antenni sijaitsee, voidaan jättää lattian vaimennus laskematta. Seuraavaksi käsitellään yksi esimerkki äsken esitetyllä kaavalla. Käytetään seuraavia parametreja: taajuus on 400 MHz, etäisyys on 50 metriä, seinä on 3 kpl antennin ja päätelaitteen välissä, seinän vaimennus oletetaan 6 dB:n suuruiseksi ja vaimennuskertoimen on 2,5. Vaimennuskertoimen on arvioitu taulukkoa 11 apuna käyttäen olettaen toimistossa olevan molemman tyypin väliseiniä eli kohdat soft partition ja hard partition huomioituna.

$$Path Loss (L) = 24,48 \text{ dB} + 10 * 2,5 * \log(50) + 6 \text{ dB} * 3 = 84,96 \text{ dB}$$

9.5.5 ITU Indoor Path Loss

$$L_{total} = 20 * \log_{10}(f) + N * \log_{10}(d) + L * f(n) - 28 \text{ dB}$$

f on käytettävä taajuus megahertseinä (MHz)

N on power loss coefficient value eli tehohäviö kerroin (katso taulukko 11)

d on matka kohteeseen metreinä

Lf(n) on lattian vaimennuskerroin (katso taulukko 12).

n on lähettimen ja vastaanottimen väliset kerrokset. Mikäli mittaus on samassa kerroksessa kuin antenni, voidaan käyttää tulosta 0 dB.

Seuraava taulukko esittää N-kertoimen eli tehohäviö-kertoimen äsken käsiteltyyn kaavaan. Lähteestä kopioitu taulukko ei sisältänyt jokaiseen kohtaan tietoa, joten kerroin täytyy arvioida sopivaksi, kun käytetään taulukkoon 12 kuulumattomia taajuuksia, kuten viranomaisverkon taajuutta.

Taulukko 12. Tehohäviö kerroin ITU indoor path -etenemismallille [11, s. 211].

Tehohäviö kerroin, N, ITU-site-general indoor propagation mallille			
Taajuus	Asuinalue	Toimisto	Kaupallinen
900 MHz	-	33	20
1.2 - 1,3 GHz	-	32	22
1.8 - 2 GHz	28	30	22
4 GHz	-	28	22
5.2 GHz	-	31	-
60 GHz*	-	22	17

* 60 GHz oletettu olevan samassa tilassa

Seuraavassa taulukossa 13 on kirjan lähteestä kopioitu lattian vaimennuskerroin. Kaikkea ei ollut kirjassa saatavilla tähänkään taulukkoon, joten kertoimien suuruus täytyy arvioida, kun taulukkoa sovelletaan muihin taajuuksiin, kuten viranomaisverkon käyttämään 400 MHz:n taajuuteen.

Taulukko 13. Lattian läpäisyn häviökerroin ITU indoor path -etenemismallille [11, s. 211].

Lattian häviökerroin, $L_f(n)$, ITU-site-general indoor propagation mallille			
Taajuus	Asuinalue	Toimisto	Kaupallinen
900 MHz	-	9 ($n = 1$)	-
900 MHz	-	19 ($n = 2$)	-
900 MHz		24 ($n = 3$)	-
1.8 - 2 GHz	4n	15 + 4 ($n - 1$)	6 + 3 ($n - 1$)
5.2 GHz	-	16 ($n = \text{vain } 1$)	-

Lasketaan yksi esimerkki äsken esitetyllä kaavalla:

$$L_{total} = 20 * \log_{10}(400) + 34 * \log_{10}(50) - 28 \text{ dB} = 81,81 \text{ dB}$$

Kaavassa käytettiin parametreina seuraavia arvoja:

Käytettävä taajuus on 400 MHz ja N-kerroin arvioitiin 34, koska taajuuden pienentyessä kerroin näyttäisi nousevan toimistotiloissa. Lisäksi matkaksi asetetaan jälleen 50 metriä, jotta se olisi vertailukelpoinen aikaisempien laskelmien kanssa ja antennin oletetaan olevan samassa kerroksessa kuin päätelaite, jolloin lattian häviökerrointa ei tarvitse huomioida lainkaan.

9.5.6 Log-Distance Path Loss

$$L_{total} = PL(d_0) + N * \log_{10}(d/d_0) + X_s$$

$PL(d_0)$ on vaimennus referenssipisteessä eli vapaan tilan vaimennus 1 metrin etäisyydellä. Taajuudella 400 MHz se on 24,48 dB.

N on vaimennuskerroin

X_s on Gaussin jakauma, kun siihen sisältyy odotusarvo ja satunnaismuuttujan varianssi. Luku mitataan desibeleissä.

Seuraavaksi lasketaan esimerkkilasku 50 metrin etäisyydellä ja 400 MHz:n taajuudella, kuten aiemmissakin tähän asti. Selvitetään ensin N-vaimennuskerroin ja X_s . Otetaan 90 % todennäköisyys huomioon, jolloin saamme liitteen 5 Q(z) taulukon arvoista kertoimen $z=1,645$. Samasta liitteestä 5 katsotaan σ -arvo 400 MHz:n taajuudella kuvaajasta ” σ (dB) - arvojen graafinen etsiminen eri taajuuksille”, josta saadaan tulkittua tulokseksi 7,3. Seuraavalla kaavalla selvitetään X_s :n arvo.

$$X_s = z * \sigma = 1,645 * 7,3 \text{ dB} = 16,97 \text{ dB}$$

Tämän jälkeen lasketaan $N \times \log(d/d_0)$ arvo. Etsitään jälleen kerran liitteestä 5 kuvajasta "N - kertoimen haku eri taajuuksille" taajuudelle 400 MHz arvo. Graafisesti tulkiten tulos on 23.

$$N * \log\left(\frac{d}{d_0}\right) = 23 * \log(50) = 39,08 \text{ dB}$$

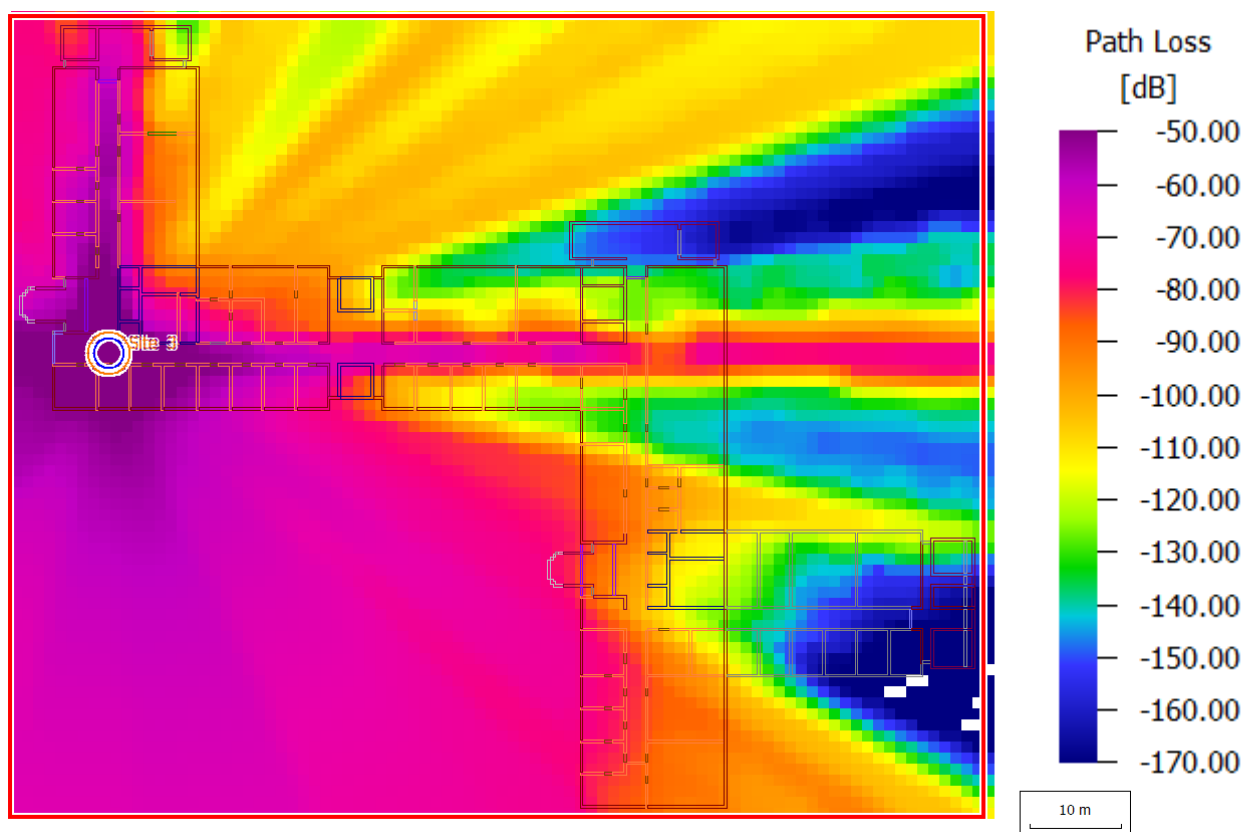
Viimeisenä vuorossa on laskea yhteen äsken lasketut vaimennukset, eli lasketaan X_s , $N * \log(d/d_0)$ ja $PL(d_0)$ arvot yhteen.

$$PL(d_0) + N * \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_s = 24,48 \text{ dB} + 16,97 \text{ dB} + 39,08 \text{ dB} = 80,53 \text{ dB}$$

9.6 Etenemismallien tarkastelu

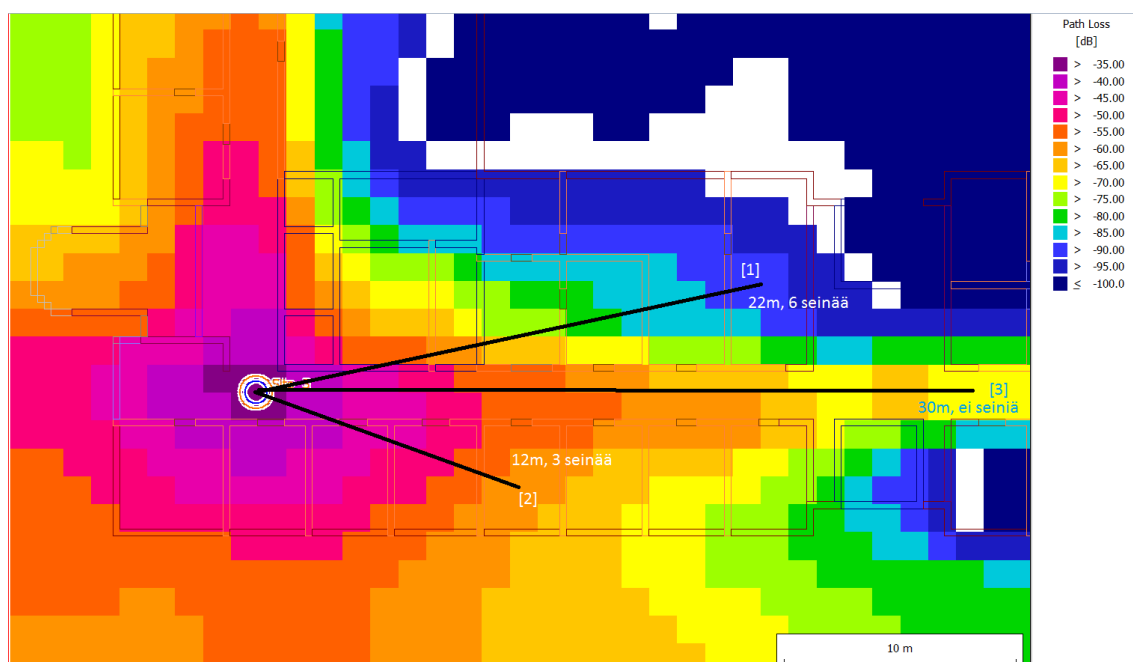
Käsittelen seuraavaksi äsken esitettyjä etenemismalleja, joilla pyritään ennustamaan radiosignaalin kulkua. Insinööritöyssäni on tarkoitus kokeilla näitä ja vertailla simulointiohjelman tuloksia saatuihin arvoihin. Simulointiohjelmana käytettiin 30 päivän kokeiluversiona Awe communications-nimisen yrityksen ohjelmasta nimeltä ProMan.

Käytin ohjelmassa yrityksen tarjoamaa yliopiston pohjapiirustusta ja mallina on dominantti path loss, jonka sain yrityksen verkkosivuilta ladattua. Sijoitin yhden antennin syöttämään 400 MHz taajuutta teholla -2,374 dBm, johon olin päätenyt aiemmissa laskuisani. Signaaliteholla ei ole kuitenkaan merkitystä laskettaessa vain häviötä radiosignaalin matkalla. Oleellisempi tieto on antennin sijoituskorkeus 2,5 metriä lattiasta ja havaintokorkeus 1,2 metriä, missä päätelaite kuvitteellisesti on, kun laite on kädessä. Seuraava kuva 27 on simuloinnista ProMan-ohjelmalla.



Kuva 27. Radiosignaalin simulointi ProMan-ohjelmalla.

Seuraavaksi käsitellään mittauspisteet ja tulokset. Kuvassa 28 näkyvät mittauspisteet. Ympyrä, josta viivat mittauspisteille lähtevät, kuvaa antennia. Mittaus 1 on kuvassa kohdassa [1], mittaus 2 on kuvassa kohdassa [2] ja mittaus 3 on kuvassa kohdassa [3]. Tulokset on laskettu liitteen 5 mukaisella Excel-taulukolla, jonka olen tehnyt tätä insinöörityötä varten. Tulokset on käsitelty siten, että ensin on ilmoitettu käytetyn etenemismallin nimi, jonka jälkeen tämän mallin perusteella laskettu häviö desibeleinä. Osa malleista on lisäksi määritetty eri parametreja, jotta kaava toimisi oikein. Nämä käytetyt parametrit ovat mainittu mallin alapuolella.



Kuva 28. Radiosignaalin simulointi ProMan ohjelmalla, sekä mittauspisteet 1-3.

Mittaus 1: Etäisyys kohteeseen 22 metriä, 3 seinää välissä, taajuus 400 MHz

- ProMan simulointi: 90 dB:n häviö
- Indoor office path loss: 94,04 dB:n häviö
 - Seinien vaimennus 6 dB, seiniä 6 kpl
 - Vaimennuskerroin $n=2,5$
- ITU indoor path loss 72,37 dB:n häviö
 - $N = 36$
- Free path loss: 51,33 dB:n häviö
- Log-distance path loss: 72,33 dB:n häviö
- Log-normal path loss: 95,15 dB:n häviö
 - $n = 4$
- Vapaa tilan malli, johon on lisättyinä seinät (6 kpl x 6 dB): 87,33 dB:n häviö

Mittaus 2: Etäisyys kohteeseen 12 metriä, 6 seinää välissä, taajuus 400 MHz

- ProMan simulointi: 60 dB:n häviö
- Indoor office path loss: 69,46 dB:n häviö
 - Seinien vaimennus 6 dB, seiniä 3 kpl
 - Vaimennuskerroin $n=2,5$
- ITU indoor path loss 62,89 dB:n häviö
 - $N = 36$
- Free path loss: 46,07 dB:n häviö

- Log-distance path loss: 66,28 dB:n häviö
- Log-normal path loss: 84,62 dB:n häviö
 - $n = 4$
- Vapaa tilan malli, johon on lisätty seinät (3 kpl x 6 dB) = 64,07 dB:n häviö

Mittaus 3: Etäisyys kohteeseen 30 metriä, vapaa tila, taajuus 400 MHz

- ProMan antoi tulokseksi 70 dB:n häviö
- Indoor office path loss: 74,98 dB:n häviö
 - Vaimennuskerroin $n=2,2$
- ITU indoor path loss: 77,22 dB:n häviö
 - $N = 36$
- Free path loss: 54,03 dB:n häviö
- Log-distance path loss: 75,43 dB:n häviö
- Log-normal path loss: 68,04 dB:n häviö
 - $n = 4$

Tuloksista voidaan päätellä indoor office path loss -mallin olevan melko tarkka. Myös log-normal path loss -malli vaikutti toimivalta, kun käytetään hieman pidempää matkaa. Parametrien valinta tietenkin vaikuttaa lopputulokseen hyvin paljon, minkä vuoksi uskon näissä olevan virheitä. Koska kaikkia parametreja ei ole saatavilla suoraan 400 MHz taajuudelle, jouduin hieman päättämään ja arvailemaan kertoimia.

10 Loppudokumentointi

Suomen Erillisverkot vaatii mittaustulokset Site Master –mittausjärjestelmällä tai vastaavalla. Molemmista, PIM-arvosta ja VSWR-arvosta, tulee tehdä omat mittauksensa, sillä mitattaessa PIM-arvo ei saada tietoon paluusignaalin heijastumia ja päinvastoin. Tämän takia on erittäin tärkeätä tehdä molemmat. [59.] Sekä urakoitsija että suunnittelija tai vain toinen heistä mittaa VIRVE-päätelaitteella sisäverkon signaalitasot. Kuuluvuusalueen tulee täyttää tarvekartoituslomakkeessa, L1-lomake, esitetyt vaatimukset kuuluvuuden laajuudesta. [6, s. 7.]

Urakoitsija on velvollinen toimittamaan valmiin, mittaustuloksen ja asennuskuvien varustettu sisäverkon asennuskansion Suomen Erillisverkoille välittömästi, kun kohde valmistuu lopputarkastusta varten. Tämä asennuskansio löytyy viranomaisverkon internet sivuilta. [6, s. 7.]

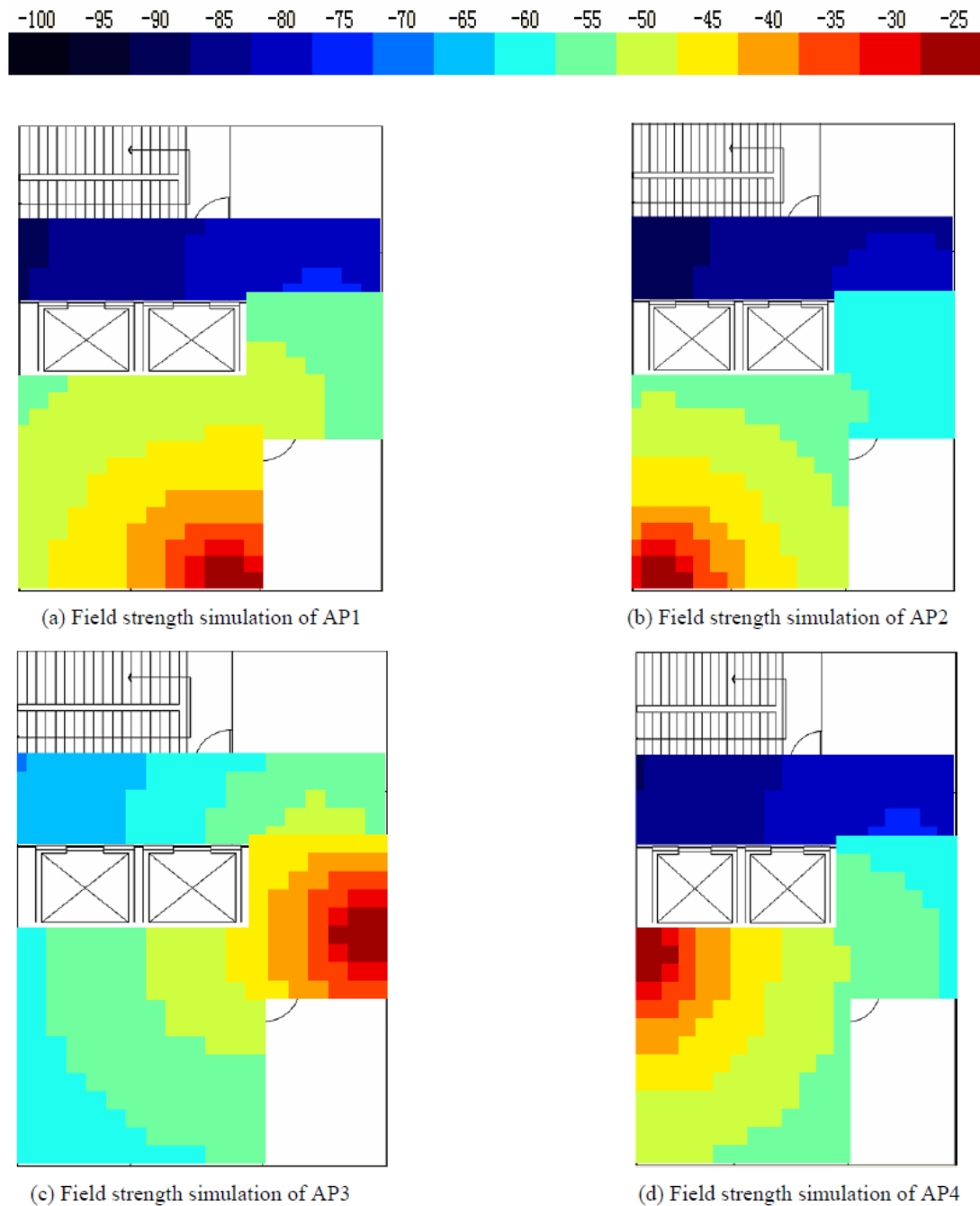
Kun tilaaja on hyväksynyt kohteen, on aika tilata Suomen Erillisverkot Oy:n lopputarkastus kohteeseen. Lopputarkastus tilataan lomakkeella, joka on saatavilla viranomaisverkon internetsivuilta samasta paikasta kuin asennuskansio ja yleisohjeet. Lopputarkastuslomakkeen yhteydessä toimitetaan Suomen Erillisverkot Oy:n suunnitelma ja taajuuslupahakemus. Ilman näitä dokumentteja lopputarkastusta ei suoriteta. [6, s. 7.]

Kun lopputarkastus on valmis eli laitteiston asennus, radiotekniset yksityiskohdat ja häiriötön toiminta niin sisätiloissa kuin ulkonakin ovat kunnossa, annetaan lupa laitteiston käyttöönotolle. Tämän lisäksi toistin liitetään etävalvontaan, jonka jälkeen järjestelmä on virallisesti käytössä. [6, s. 7.]

Rakennuttaja saa Suomen Erillisverkot Oy:ltä ilmoituksen hyväksynnästä. Kiinteistönomistajan on vielä tämän jälkeen ilmoitettava pelastusviranomaiselle käyttöönotosta, mikäli viranomaisverkko on ollut rakennusehtona. [6, s. 8.]

11 Havaintoja muista taajuuksista

Keskityin työssäni viranomaisverkon käyttämään taajuuteen eli noin 400 MHz. Samassa verkossa voidaan jakaa myös useamman operaattorin signaaleita, kuten 900 MHz:n 3G signaalia tai 2100 MHz 3G signaalia. Aiempia laskuja voidaan soveltaa myös näihin taajuuksiin ja päinvastoin. Seuraavana esiteltä eri materiaaleista löydettyä tietoa, miten erilaisissa sisätiloissa eri taajuiset signaalit vaimenevat. Näistä saa käsityksen siitä, miten viranomaisverkon signaali vaimenisi.



Kuva 29. WLAN-verkon signaalin vaimentuminen toimistossa eri tukiasemasijoituksilla [57, s. 7].

Kuvasta 29 huomataan signaalin voimakkuudet WLAN-antennin eri sijoituspaikoilla. Jos kyseessä olisi viranomaisverkko, vaadittaisiin alueille vähintään -86 dBm signaalinvaimakkuus, joka saavutetaan tässä tapauksessa lähes jokaisessa kohdassa. Huomataan, että kuvan 29c mukaan antenni kattaa kaikkein parhaiten jokaisen alueen signaalinvai-

makkuuden pudotessa alimmillaan -65dBm tasolle. Olennainen tieto myös viranomaisverkkoa suunniteltaessa on hissien voimakas signaalin vaimentaminen, joka on otettava huomioon antennin paikkaa suunniteltaessa.

12 Yhteenveto

Insinööriyön perimmäinen tavoite oli kehittää radioverkon suunnittelun osaamista insinööritoimistolle, jossa työskentelen, sillä tällaista koottua radioteknistä asiakirjaa ei ole tällä hetkellä saatavilla. Tätä varten kehitin Excel-taulukon, Liite 5, johon kokosin työssä esiteltyjä kaavoja. Tämän avulla voidaan helpottaa tulevien projektien sisäverkkojen suunnittelua. Kuten jo työn alussa totesin, ovat tässä käytetyt kaavat vielä teoreettisella pohjalla. Radiotekniikkaan syventyminen on ollut hyvin opettavaista ja samalla sen opiskelu on auttanut ymmärtämään, kuinka laaja aihe radiotekniikka on.

Vaikka onnistuinkin rakentamaan yksinkertaisen työkalun etenemismalleista äsken mainittuun Excel-taulukkoon, ei siitä silti tullut niin yksinkertaista kuin olisin toivonut. Taulukon käyttö vaatii opastusta ja radiotekniikan tuntemista, jotta voidaan kyseenalaistaa arvot. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että kaavat eivät ole yksinkertaisia, eivätkä ne muutenkaan kerro absoluuttista totuutta. Mitatut tulokset eroavat joka kerta vähän tai vähän enemmänkin mallinnetusta tuloksesta. Kaikkia parametreja ei ollut edes saatavilla, joten esimerkiksi viranomaisverkon taajuuteen joudutaan soveltamaan kertoimien arvoja.

Olen koonnut tähän työhön vain sisätiloihin sopivia malleja. Näitä sisätilan etenemismalleja on vielä muitakin, mutta yritin keskittyä vain muutamaaan. Nyt työssä käytetyt kaavat vaikuttivat kohtuullisen helpoilta työhön mukaan otettaviksi. Ulkotiloihin ja eri taajuuksille on olemassa omat parametrinsa ja kaavansa. Pelkän insinööriyön pohjalta ei voi sanoa tulleetensa radiotekniikan ammattilaiseksi, joten myös siksi pyrin pitäytymään vain oleellisessa asiassa.

Ongelmakohtia ja kehitettävää tästä vielä jää, mahdollisesti jopa pitkäksikin aikaa. Isojen kohteiden laskeminen edes tekemälläni Excel-taulukolla ei ole järin mielekäästä tai nopeaa työtä. Lisäksi virheiden mahdollisuus voi olla vielä suurehko. Radiosignaali käyttäytyy myös heijastumien takia tavalla, johon en ehtinyt perehtyä kunnolla, ja tämä voi aiheuttaa todellisiin mittaustuloksiin huomattavia eroja laskennallisiin tuloksiin verrattuna. Kokemuksen kautta suunnitteluohjelmia hyödyntäen saataisiin oletettavasti paras

tulos aikaiseksi. Myös se, mihin suunnittelija ei voi vaikuttaa, on asentajan ammattitaitoisuus. Mikäli liitokset tehdään huonosti, heikentyy radioverkon toiminta oleellisesti.

Toinen ongelma työssä oli keskittyminen lähinnä viranomaisverkon suunnitteluun. Työstä löytyy viitteitä muihin taajuuksiin liittyen, mihin en ole kovin perehtynyt. Moniope-raattoriverkko tuottaa omat haasteensa suunnittelussa, ja täten komponenttien valinta etenkin laadullisesti on entistä haastavampaa, sekä tietenkin tärkeämpää. Virve-verkko toimii karkeasti 400 MHz:n taajuudella, kun taas esimerkiksi 4G toimii ja tulee toimimaan entistä enemmän 800 MHz:n, 1800 MHz:n ja peräti 2600 MHz:n taajuuksilla. Lasketta-essa vaimennuksia 400 MHz:n ja 2600 MHz:n taajuuksille sisätiloissa, voidaan saada hyvinkin toimiva viranomaisverkko, muttei toimivaa matkapuhelinverkkoa.

Kolmas ongelma työssä lienee ymmärrettävyys, mikäli radiotekniikan perusteita ei ole. Tarkoitus oli kuitenkin suunnata työ insinöörille tai insinööriopiskelijalle, jonka tekniikan ymmärrys on vähintään kohtalaisella tasolla. Tarkoitus ei ollut myöskään perehtyä syväl-lisesti sisäpeittoverkon laitteisiin, vaan oikeastaan esitellä ne. On tärkeämpää tietää, mi-ten eri komponentteja vertaillaan, kuin tietää useampi eri valmistaja.

Loppujen lopuksi olen tyytyväinen työhöni. Opin aivan valtavasti radiotekniikasta, siihen kuuluvista termeistä ja aihe alkoi kiinnostamaan sitä mukaa enemmän, mitä enemmän opin ja ymmärsin asioita. Tästä on varmasti hyötyä minulle ja yritykselle tulevaisuudessa. Vaikka en tällä hetkellä uskaltaisi itse suunnitella isoon kohteeseen tällaista järjestelmää, uskoisin pystyväni kuitenkin tekemään alustavan suunnitelman ja kustannusarvion ky-seiseen rakennukseen.

Uskon, että sähkösuunnittelija joka miettii sisäverkkojen suunnittelemista, saa paljon apua ja ymmärrystä työstäni. Vähintään sen verran, että tällaisen suunnittelemiseen kan-nattaa varata reilusti aikaa, hankkia ammattitaitoa ja pyytää apua alan yrityksiltä. Sillä jos viranomaisverkko ei noudata vaadittuja signaalitasoja rakennuksessa, voidaan ra-kennuksen avaaminen yleisölle estää siihen asti, kunnes verkko on kunnostettu toimi-valle tasolle. Äskeinen edellyttäen, ettei viranomaisverkko ole vapaaehtoinen vaan pe-lastuslaitoksen vaatima.

Lähteet

- 1 Yrjönen, Mikko. 2015. Projektipäällikkö, Insinööritoimisto Tauno Nissinen Oy. Sähköposti. 5.5.2015.
- 2 dB vs dBm vs dBW vs dBC. Verkkodokumentti. <<http://www.rfwireless-world.com/Terminology/dB-vs-dBm-vs-dBW-vs-dBC.html>>. Luettu 1.5.2015.
- 3 Suomen Erillisverkot yrityksenä. Verkkodokumentti. <<http://www.erillisverkot.fi/erillisverkot/yritys/>>. Luettu 18.3.2015
- 4 Viranomaisverkko VIRVEN toimivuutta kehitetään entisestään uusilla investoinneilla. 2014. Verkkodokumentti. <http://www.erillisverkot.fi/erillisverkot/viranomaisverkko_virven_toimivuutta_kehitetaan_entisestaan_uusilla_investoinneilla/152/>. 16.12.2014. Luettu 18.3.2015
- 5 Pelastuslaki. 2011. Verkkodokumentti. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110379#a379-2011>>. 29.4.2011. Luettu 19.3.2015.
- 6 Yleisohje VIRVE-kuuluvuuden toteuttamisesta kiinteistöön. Verkkodokumentti. Suomen Virveverkko Oy. <<http://www.virveverkko.fi/virveverkko/palvelut/ohjeita/>>. Luettu 11.5.2015.
- 7 Tietoyhteiskuntakaari. Verkkodokumentti. Finlex. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140917>>. Luettu 6.5.2015.
- 8 Toivonen, Tommi. Kännälä, Sami. Puranen, Lauri. 2014. Tukiasema-antennien asentaminen. Säteilyturvakeskus. Verkkodokumentti.<http://www.stuk.fi/ajankohdista/sateilyuutiset/sateilyuutiset-4-2014/fi_FI/4-2014_tukiasema-antennien_asennusopas/>.4/2014. Luettu 11.5.2015.
- 9 Radioasiaa Sähköpajaan. Verkkodokumentti. <https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/elec-a4010/luennot/ELEC-A4010_radioluento.pdf>. Luettu 8.4.2015.
- 10 Elers, Nora. Rajallinen luonnonvara: radiotaajuuudet. Verkkodokumentti. <http://www.ficom.fi/tietoa/tietoa_4_1.html?Id=1159247060.html>. Luettu 8.4.2015.
- 11 Seybold, John S. 2005. Introduction to RF Propagation. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- 12 Radio frequency. Verkkodokumentti. <http://en.wikipedia.org/wiki/Radio_frequency>. Luettu 8.4.2015.

- 13 Decibel conversion. Verkkodokumentti. <<http://www.mogami.com/e/cad/db.html>>. Luettu 20.4.2015.
- 14 Davis, Don. Patronis, Eugene. 2008. Using the Decibel – Part 1: Introduction and underlying concepts. Verkkodokumentti. <<http://www.embedded.com/print/4015880>>. 28.5.2008. Luettu 10.4.2015.
- 15 Decibel-Watt (dBW). Verkkodokumentti. <<http://www.rapidtables.com/electric/dBW.htm>>. Luettu 15.4.2015.
- 16 Sisäpeittoantenniverkot. Verkkodokumentti. Orbis Oy. <<http://www.orbis.fi/sisapeittoantenniverkot>>. Luettu 23.3.2015.
- 17 Niemi, Pentti. Kuuluvuutta sisätiloihin. Verkkodokumentti. <<http://www.orbis.fi/kuuluvuutta-sisatiloihin>>. Luettu 23.3.2015.
- 18 IBC/DAS/small cells RF products. Verkkokatalogi. Huber Suhner. <<http://literature.hubersuhner.com/Marketsegments/Communication/DistributedAntennaSystems/DAS/>>. Luettu 5.5.2015.
- 19 Cable 101 – Return Loss. Kuvankaappaus videosta (6.33/8.47). <<https://www.youtube.com/watch?v=Vf1Y46XfnWl>>. Luettu 7.5.2015.
- 20 Waveguide. Verkkodokumentti. <<http://en.wikipedia.org/wiki/Waveguide>>. Luettu 3.4.2015.
- 21 Tyster, Juho. 2013. RF-tekniikan perusteet BL50A0300. Verkkodokumentti. <<https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl50a0300/luennot/luento2.pdf>>. 2.9.2013. Luettu 3.4.2015.
- 22 VSWR - Return Loss - Γ Conversion. Verkkodokumentti. <<http://www.rfcafe.com/references/electrical/vswr.htm>>. Luettu 8.5.2015.
- 23 Niemi, Pentti. PIM – antenniverkkojen häiriö. Verkkodokumentti. <<http://www.orbis.fi/PIM-antenniverkkojen-hairikko>>. Luettu 23.3.2015.
- 24 Hall, Frank. 2009. A primer on passive intermodulation (PIM). Verkkodokumentti. <http://www.rfsworld.com/userfiles/pdf/pim_white_paper_final_oct09.pdf>. 4/2009. Luettu 2.5.2015.
- 25 Orpana, Vesa. 2014. Matkapuhelinten sisäverkkojen rakennuttaminen eroaa sähkösisäverkon rakennuttamisesta monin eri tavoin. Seminaarimateriaali. <<http://www.orbis.fi/materiaalit>>. 26.8.2014. Luettu 1.4.2015.
- 26 Why Fifty Ohms?. Verkkodokumentti. <<http://www.microwaves101.com/encyclopedias/why-fifty-ohms>>. Luettu 3.4.2015.

- 27 York, Bob. Why is 50ohm Coaxial Line so Special Anyway?. Verkkodokumentti. <<http://my.ece.ucsb.edu/York/Bobsclass/144A/Handouts/Why50ohm.pdf>>. Luettu 7.4.2015.
- 28 Poole, Ian. Antenna RF Diplexer Tutorial. Adrio Communications Ltd. Verkkodokumentti. <<http://www.radio-electronics.com/info/antennas/diplexer/antenna-rf-diplexer.php>>. Luettu 11.5.2015.
- 29 Antennijärjestelmät. 2015. ST-käsikirja 12. Espoo: Sähkötieto ry.
- 30 I used an RF shielding product which claims 80 dB attenuation at 2.4 GHz. Why am I only seeing 20 dB?. 1996-2014. Less EMF Inc. Verkkodokumentti. <<http://www.lessemf.com/faq-shie.html>>. Luettu 11.5.2015.
- 31 Kiinteistöjen VIRVE-kuuluvuuden toteuttaminen. 2009. Verkkodokumentti. <<http://www.erillisverkot.fi/public/files/Ohje%20-%20VIRVE-kuuluvuuden%20toteuttaminen.pdf>>. 23.12.2009. Luettu 30.3.2015.
- 32 Combiner Box. Verkkodokumentti. Orbis Oy. <<http://www.orbis.fi/rf-komponentit-combiner-box>>. Luettu 3.5.2015.
- 33 Koaksiaalikaapeli. 2015. Verkkodokumentti. Tangient LLC. <<http://kompo2010.wikispaces.com/Koaksiaalikaapeli>>. Luettu 11.5.2015
- 34 Säteilevät kaapelit. Verkkodokumentti. Orbis Oy. <<http://www.orbis.fi/sateilevat-kaapelit>>. Luettu 20.3.2015.
- 35 Korrugoidut kaapelit. Verkkodokumentti. Orbis Oy. <<http://www.orbis.fi/korrugoidut-kaapelit>>. Luettu 20.3.2015
- 36 Pulkkanen, Matti. 2015. Mobiiliverkon sisäpeiton toteuttaminen. Verkkodokumentti. <http://www.tele-tukku.fi/tiedosto_haku/tiedostot/tuotteet/antennit%20ja%20tarvikkeet/sisaverkonpeitto_es.pdf>. 3/2015. Luettu 22.3.2015.
- 37 Kaapelikiinnikkeet ja työkalut. Verkkodokumentti. Orbis Oy. <<http://www.orbis.fi/kiinnikkeet-tyokalut>>. Luettu 23.3.2015.
- 38 Sisäpeittoantenniverkon hinnasto. 2014. Orbis Oy. Tuote-esite. 15.7.2014.
- 39 Päätteet (Terminations). Verkkodokumentti. Orbis Oy. <<http://www.orbis.fi/paatteet-terminations>>. Luettu 4.5.2015.
- 40 Wireless Gigabit Alliance. Verkkodokumentti <http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_Gigabit_Alliance>. Luettu 4.5.2015.

- 41 Transmission Line Terminations for Digital and RF signals – Intro/Tutorial. 2014. Video. <https://www.youtube.com/watch?v=g_jxh0Qe_FY>. 28.4.2014. Katsottu 8.5.2015.
- 42 Coaxial Termination. Verkkokatalogi. Huber Suhner. <<http://www.hubersuhner.com/ProdDet/4193571>>. Luettu 8.5.2015.
- 43 N Female to 7/16 DIN Female Adapter. Verkkodokumentti. Telcom Antennas. <<https://www.telcoantennas.com.au/site/n-female-7-16-din-female-adapter>>. Luettu 28.5.2015.
- 44 RF-liittimet. Verkkodokumentti. <<http://koti.mbnet.fi/~ijl/rfliitti.html>>. Luettu 25.4.2015.
- 45 Verkkokatalogi. Shining Precision Co, Ltd. <<http://www.shining-rf.com.tw/main.asp>>. Luettu 28.4.2015.
- 46 Verkkokatalogi. Telco Antennas. <<https://www.telcoantennas.com.au/site/category/products/adapters-crimps-wallplates-more/adapters/7-16-din>>. Luettu 28.4.2015.
- 47 Wölfie, Gerd. Wahl, René. Wertz, Philipp. Wildbolz, Pascal. Landstorfer, Friedrich. 2005. Verkkodokumentti. <http://www.awe-communications.com/Download/Publications/Gemic2005_Paper.pdf>. Luettu 5.4.2015.
- 48 Aaltoputket. Verkkodokumentti. Orbis Oy. <<http://www.orbis.fi/aaltoputket>>. Luettu 6.4.2015.
- 49 Bandercomin alkukartoituskuvat postitalosta. Insinööritoimisto Tauno Nissinen Oy:n sisäisiä dokumentteja.
- 50 Peltola, Pete. 2014. Bandercom Sisäpeittoantenniverkot. Seminaarimateriaali. <<http://www.orbis.fi/materiaalit>>. 26.8.2014. Luettu 1.4.2015.
- 51 Coaxial cables. Verkkodokumentti. <<http://www.sira.mi.it/en/products/cables/4/coaxial-cables/326>>. Luettu 23.4.2015.
- 52 Taloon Yhtiöt Oy. 2004 -2015. 02 Muut teleasennuskaapelit. Verkkokatalogi. <<http://www.taloon.com/02-muut-teleasennuskaapelit/4198/dg>>. Luettu 6.5.2015.
- 53 Yrjönen, Mikko. 2015. Projektipäällikkö, Insinööritoimisto Tauno Nissinen Oy. Haastattelu 7.4.2015.
- 54 Indoor Path Loss. 2012. Verkkodokumentti. <<http://ftp1.digi.com/support/images/XST-AN005a-IndoorPathLoss.pdf>>. 6/2012. Luettu 6.4.2015.

- 55 Niemelä, Jarno. Asp, Ari. Sydorov Yaroslav. 2012. Radiosignaalin vaimennusmittauksia nykyaikaisissa asuintaloissa. Verkkodokumentti. <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/rakentamisen-kehittaminen/niemela_radiosignaalin_vaimennusmittauksia.pdf>. Luettu 5.4.2015.
- 56 Porras, Jari. Lappeenranta University Of Technology. Verkkodokumentti. <<http://www2.it.lut.fi/kurssit/08-09/CT30A2600/luennot/CT30A2600%20luento4%20etenemismallit.pdf>>. Luettu 8.5.2015
- 57 Shi, Feng. Li, Meifang. Zhao, Yongxiang. 2010. Indoor Radio Propagation Model Based on Dominant Path. Verkkodokumentti. <<http://www.scirp.org/Journal/Paper-Download.aspx?paperID=1479>>. 3/2010. Luettu 2.4.2015
- 58 Creowave Oy. 2009. TETRA toistimet. Verkkokatalogi. <<http://creowave.sivuvii-dakko.fi/fi/tuotteet-ja-ratkaisut/professional-radio/tuotteet.html>>. Luettu 10.5.2015.
- 59 Understanding PIM. Verkkodokumentti. <<http://www.anritsu.com/en-US/Products-Solutions/Solution/Understanding-PIM.aspx>>. Luettu 3.5.2015.

Lomake L1, VIRVE sisäverkon tarvekartoituslomake

L1

VIRVE SISÄVERKON TARVEKARTOITUS			
Tämä VIRVE sisäverkon tarvekartoitus on tarkoitettu tehtäväksi rakennuslupavaiheessa yhdessä pelastusviranomaisen kanssa riskikohteissa. Tarvekartoitus on tarkoitettu käytettäväksi lähtötietona sisäverkon suunnittelu ja toteutusvaiheessa.			
PERUSMAARITTELYT			
Kohde	Nimi		
	Osoite		
Omistaja/ haltija	Omistaja/haltija		
	Osoite		
	Yhteyshenkilö		
Kuuluvuus kartoituksen tekijä	Organisaatio tai Yritys		
	Osoite		
	Yhteyshenkilö		
Paikallinen pelastus- viranomainen	Pelastusviranomainen		
	Osoite		
	Yhteyshenkilö		
VIRVE sisäver- kon määräy- tyminen (hankinnan perusteet)	<input type="checkbox"/> Pelastusviranomaisen suositus	<input type="checkbox"/> Omaehtoinen	
	<input type="checkbox"/> henkilöturvaksi		
	<input type="checkbox"/> muu, mikä		
Virve sisäverkon laajuus	<input type="checkbox"/> Koko rakennus (kentänvoimakkuus ≥ -86 dBm 90 % todennäköisyydellä)		
	<input type="checkbox"/> Muut katselmuksessa määritetyt tilat (merkitty liitteenä oleviin kiinteistön pohjapiirustuksiin)		
Muut vaatimuk- set	<input type="checkbox"/> VIRVE sisäverkon sähkönsyöttö on varmennettava	Akuston kesto	<input type="checkbox"/> 2h <input type="checkbox"/> 4h <input type="checkbox"/> 6h
	<input type="checkbox"/> Erityisvaatimuksia toistimen sijoitukselle. Mitä? _____		
Esitetyt asiakirjat	<input type="checkbox"/> Rakennuslupahakemus	<input type="checkbox"/> Hankesuunnitelma	
	<input type="checkbox"/> Kiinteistön piirustukset	<input type="checkbox"/> Aluekuva	
	<input type="checkbox"/> Työselostus		
Lähtötietojen kirjaaminen	Edellä olevat lähtötiedot on kirjattu.		
	Perustietojen kirjauspaikka	Päivämäärä	Pelastusviranomainen
	Perustiedot pelastusviranomaiselle toimittanut		
	Suunnittelija	Haltijan Edustaja	
Virve sisäverkon käyttöönotto	Pelastusviranomainen haluaa tiedon Virve sisäverkon valmistumisesta		
	<input type="checkbox"/> Kyllä	yhteyshenkilö:	

RFA 7/8"-50-koaksiaalikaapelin tuotekortti



SPECIFICATION 5009/08

Replace 5007/06

16.01.2008

RFA 7/8" COAXIAL CABLE

NK CODES

RFA 7/8"-50
RFA 7/8"-50 GHF
RFA 7/8"-50 BHF
RFA 7/8"-50 BHF (UL) CATVR

NKRFA07800
NKRFA07801
NKRFA07802
NKRFA07804

CONSTRUCTION



Inner conductor	Copper tube	Ø 9.4 mm	(0.37 in)
Dielectric	Cellular polyethylene	Ø 22.5 mm	(0.89 in)
Outer conductor	Corrugated copper tube	Ø 25.4 mm	(1.00 in)
Jacket	See Jacketing Options table below	Ø 28.0 mm	(1.10 in)
Marking	Draka, cable type, manufacture week, year, batch number and meter mark		

ELECTRICAL CHARACTERISTICS at +20°C (+68°F)

Characteristic impedance	50 ± 1 Ω
Return loss 24 dB for 100 m cable with NKC connectors	
- 380 - 500	MHz
- 806 - 960	"
- 1710 - 1880	"
- 1900 - 2170	"
- 3400 - 3600	"
Other bands also available on request	
Bands according to customer's specifications	
Attenuation	See table
Velocity factor	0.90
Capacitance	74.2 pF/m (22.6 pF/ft)
Maximum frequency	5100 MHz
Max power rating	See table
Peak RF voltage rating	3.3 kV
Peak power rating	92.0 kW
DC-resistance	
- Inner conductor	1.28 Ω/km (0.39 Ω/1000 ft)
- Outer conductor	1.15 Ω/km (0.35 Ω/1000 ft)

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Weight	0.45 kg/m (0.30 lb/ft)
Maximum pulling force	2500 N (562 lb)
Minimum bending radius	
- Single bending	120 mm (4.7 in)
- Repeated bending	240 mm (9.4 in)
Operating temperature range	-55...+85°C (-67...+185 °F)
Crush resistance	1.6 kg/mm (90 lb/in)
Bending moment	15.0 Nm (11 lb-ft)
Recommended clamp spacing	1.0 m (3.3 ft)

JACKETING OPTIONS

TYPE	JACKET	IEC 60754 -1/-2 halogen free, non corrosive	IEC 61034 low smoke emission	IEC 60332-3-24 fire retardant	UV retardancy	UL Rated	Min. installation temperature
RFA 7/8"-50	Black, halogen free polyethylene (LDPE with HDPE skin)	yes	no	no	yes	no	-40°C (-40°F)
RFA 7/8"-50 GHF	Grey, halogen free fire retardant thermoplastic	yes	yes	yes	no	no	-20°C (-4°F)
RFA 7/8"-50 BHF	Black, halogen free fire retardant thermoplastic	yes	yes	yes	yes	no	-20°C (-4°F)
RFA 7/8"-50 BHF (UL) CATVR	Black, halogen free fire retardant UL Riser rated jacket	yes	yes	yes	yes	yes	-20°C (-4°F)

MNC-tech.support@draka.com

Telephone +358 10 56 61

Telefax +358 10 566 4294

Subject to change without prior notice.

RFA 7/8" COAXIAL CABLE

FREQUENCY MHz	ATTENUATION dB/100 m	ATTENUATION dB/100 ft	POWER RATING kW
10	0.346	0.105	27
30	0.603	0.184	16
50	0.782	0.238	12
88	1.04	0.318	8.9
100	1.12	0.340	8.4
108	1.16	0.354	8.0
174	1.48	0.452	6.3
200	1.60	0.486	5.8
300	1.97	0.601	4.7
400	2.29	0.699	4.0
450	2.44	0.744	3.8
500	2.58	0.787	3.6
512	2.61	0.797	3.5
600	2.84	0.867	3.2
700	3.09	0.942	3.0
800	3.32	1.01	2.8
850	3.43	1.05	2.7
890	3.52	1.07	2.6
900	3.54	1.08	2.6
950	3.64	1.11	2.5
960	3.66	1.12	2.5
1000	3.74	1.14	2.5
1200	4.14	1.26	2.2
1400	4.50	1.37	2.0
1600	4.84	1.48	1.9
1800	5.17	1.58	1.8
1900	5.33	1.62	1.7
2000	5.48	1.67	1.7
2200	5.78	1.76	1.6
2400	6.07	1.85	1.5
2600	6.35	1.94	1.4
2800	6.63	2.02	1.4
3000	6.89	2.10	1.3
3400	7.40	2.26	1.2
3500	7.53	2.29	1.2
3600	7.65	2.33	1.2
4000	8.13	2.48	1.1
5000	9.26	2.82	0.97

Attenuation values are typical at ambient temperature +20°C (+68°F).
 Power rating ambient temperature +40°C (+104°F), inner conductor +100°C (+212°F).

CODES FOR NKC CONNECTORS

CONNECTOR TYPE	CODE
N male	NKC1078300
N female	NKC1078400
7-16 male	NKC1078100
7-16 female	NKC1078200
7-16 male Right angle	NKC1078500
7-16 Bulkhead female	NKC1078290

RFA 1 5/8"-50-koaksiaalikaapelin tuotekortti



SPECIFICATION 5009/06

Replace 5017/05

26.09.2006

RFA 1 5/8" COAXIAL CABLE

NK CODES

RFA 1 5/8"-50
RFA 1 5/8"-50 GHF
RFA 1 5/8"-50 BHF

NKRFA15800
NKRFA15801
NKRFA15802

CONSTRUCTION



Inner conductor	Corrugated copper tube	Ø 17.8 mm	(0.69 in)
Dielectric	Cellular polyethylene	Ø 42.0 mm	(1.65 in)
Outer conductor	Corrugated copper tube	Ø 46.3 mm	(1.82 in)
Jacket	See Jacketing Options table below	Ø 50.0 mm	(1.97 in)
Marking	Draka, cable type, manufacture week, year, batch number and meter mark		

ELECTRICAL CHARACTERISTICS at +20°C (+68°F)

Characteristic impedance	50 ± 1 Ω
Return loss 24 dB for 100 m cable with NKC connectors	
- 380 - 500	MHz
- 806 - 960	"
- 1710 - 1880	"
- 1900 - 2170	"
Other bands also available on request	
Bands according to customer's specifications	
Attenuation	See table
Velocity factor	0.89
Capacitance	74 pF/m (22.6 pF/ft)
Maximum frequency	2800 MHz
Max power rating	See table
Peak RF voltage rating	5.7 kV
Peak power rating	314 kW
DC-resistance	
- Inner conductor	1.16 Ω/km (0.35 Ω/1000 ft)
- Outer conductor	0.43 Ω/km (0.13 Ω/1000 ft)

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Weight	1.16 kg/m (0.78 lb/ft)
Maximum pulling force	3900 N (860 lb)
Minimum bending radius	
- Single bending	200 mm (7.9 in)
- Repeated bending	400 mm (15.7 in)
Operating temperature range	-55...+80°C (-67...+176 °F)
Crush resistance	3.1 kg/mm (173 lb/in)
Bending moment	45 Nm (33)
Recommended clamp spacing	1.0 m (3.3 ft)

JACKETING OPTIONS

TYPE	JACKET	IEC 60754 -1/-2 halogen free, non corrosive	IEC 61034 low smoke emission	IEC 60332-3-24 fire retardant	UV retardancy	Min. installation temperature
RFA 1 5/8"-50	Black, halogen free polyethylene (LDPE with HDPE skin)	yes	no	no	yes	-40°C (-40°F)
RFA 1 5/8"-50 GHF	Grey, halogen free fire retardant thermoplastic	yes	yes	yes	no	-5°C (23°F)
RFA 1 5/8"-50 BHF	Black, halogen free fire retardant thermoplastic	yes	yes	yes	yes	-5°C (23°F)

MNC-tech.support@draka.com

Telephone +358 10 56 61

Telefax +358 10 566 4294

Subject to change without prior notice.

RFA 1 5/8" COAXIAL CABLE

FREQUENCY MHz	ATTENUATION dB/100 m	ATTENUATION dB/100 ft	POWER RATING kW
10	0.196	0.060	55
30	0.343	0.105	31
50	0.447	0.136	24
88	0.601	0.183	18
100	0.643	0.196	17
108	0.669	0.204	16
174	0.863	0.263	12
200	0.929	0.283	11
300	1.16	0.353	9.1
400	1.36	0.413	7.8
450	1.45	0.441	7.3
500	1.54	0.468	6.9
512	1.56	0.474	6.8
600	1.70	0.518	6.2
700	1.85	0.565	5.7
800	2.00	0.610	5.3
850	2.07	0.631	5.1
890	2.13	0.648	5.0
900	2.14	0.652	4.9
950	2.21	0.673	4.8
960	2.22	0.677	4.7
1000	2.27	0.693	4.6
1200	2.53	0.770	4.2
1400	2.77	0.843	3.8
1600	2.99	0.913	3.5
1800	3.21	0.979	3.3
1900	3.32	1.01	3.2
2000	3.42	1.04	3.1
2200	3.63	1.11	2.9
2400	3.82	1.17	2.7
2600	4.02	1.22	2.6
2800	4.20	1.28	2.5

Attenuation values are typical at ambient temperature +20°C (+68°F).

Power rating ambient temperature +40°C (+104°F), inner conductor +100°C (+212°F).

CODES FOR NKC CONNECTORS

CONNECTOR TYPE	NK CODE
N male	NKC1158300
N female	NKC1158400
7-16 male	NKC1158100
7-16 female	NKC1158200
7-16 Bulkhead female	NKC1158290

HUBER+SUHNER Sencity Ultra ympäristeilevän antennin tuotekortti

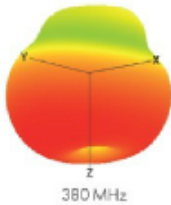
SENCITY® Ultra

SWA-0459/360/4/25/V_1

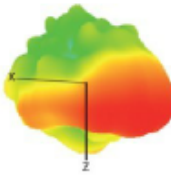
Multiband omni-directional antennas

- Omni-directional antenna for indoor DAS
- High gain 4 dBi
- Ultra broad band and multi band antenna supporting
 - Homeland Security, Tetra, Tetrapol
 - DVB-T, DVB-H
 - AMP's, GSM, PCS, CDMA, UMTS, WiFi 2.4 and 5.6 GHz, WiMax, LTE 4.9 GHz

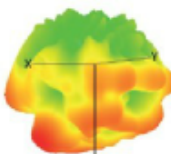
HUBER+SUHNER type	1399 170120			
Item no.	84078635			
Electrical data				
Frequency (MHz)	380 - 560	560 - 960	1710 - 5500	5500 - 5875
VSWR	2	2	1.5	1.5
Gain [dBi]	3.5	5	8	10
3 dB beamwidth [h] [°]	360	360	-	-
General data				
Nominal impedance [Ω]	50			
IMD level	-145 dBc at carrier power 2 × 30 dBm			
Polarisation	vertical			
Connector	N, jack (female), back			
Composite power max. [W]	10			
Mechanical data				
Dimensions [mm]	153.6 × 78.6 × 25.5 (height × width × depth)			
Weight [kg]	0.8			
Environmental data				
Operation temperature [°C]	0 to +55			
RoHS	2011/65/EC			
Material data				
Radome colour	RAL 9010 (white)			
Radome material	ASA (Acrylic Styrene Acrylonitrile)			
Back/base plate colour	RAL 9010 (white)			
Back/base plate material	aluminium			



380 MHz



1710 MHz



2700 MHz

Excel-taulukko radiosignaalin häviöiden laskemiseen

1	Työtä kehittelee suomalaisia käyttäjäsi parametrit	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
2	Lähteet: merkintä (numero), kirjoita välilyöntiä "3" Lähteen																						
3																							
4	Talouden aalloittaus		400	MHz																			
5	Talutus		0,75	metriä																			
6	Aalloitus		28,3																				
7																							
8	Mukana määriteltävien kriteerien																						
9	Edistys		12,00	metriä																			
10	Tietoa käytetään alla olevissa valmennuskursseissa																						
11																							
12	Indoor environment path loss																						
13	Parametrit																						
14	LOS		2,0																				
15	NLOS		2,1																				
16	NLOS		2,2																				
17	Lähtö: [1]																						
18																							
19	Vahvistu exponentti		2																				
20																							
21	Käsko välilyönti [2]																						
22	Vahvistu senaatti vahvistus		6	dB																			
23	Tromiston seinä 6 dB vahvistu insinööriystien hyväks																						
24	Kun käytössä oli 400 MHz																						
25	Suomen lukuun		0	W																			
26																							
27	Wattageuden		6	dB																			
28	Etäisyä määriteltävissä 1-6 dB																						
29																							
30	Interaktion loss		0	dB																			
31	Eläytössä, koska ei tarpeellista tietoa antanut																						
32																							
33	Lähtöväline		0	dB																			
34																							
35																							
36	Häviöt		46,07	dB																			
37																							
38	© Niko Kaurelio 2015																						
39																							
40																							
41																							
42																							
43																							
44																							
45																							
46																							
47																							
48																							
49																							
50																							
51																							
52																							
53																							
54																							
55																							
56																							
57																							
58																							
59																							
60																							
61																							
62																							
63																							
64																							
65																							
66																							
67																							
68																							
69																							
70																							
71																							
72																							
73																							
74																							
75																							
76																							
77																							
78																							
79																							
80																							
81																							
82																							
83																							
84																							
85																							
86																							
87																							
88																							
89																							
90																							
91																							
92																							
93																							
94																							
95																							
96																							
97																							
98																							
99																							
100																							
101																							
102																							
103																							
104																							
105																							
106																							
107																							
108																							
109																							
110																							
111																							
112																							
113																							
114																							
115																							
116																							
117																							

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Seinän tyyppi	Selite/huomio	Taajuus	Vaimennus	Lähde, katso väliihteeltä "lähteet" tarkempi				
2	Puu	-	400 MHz	< 10 dB	[2]				
3	Betoni	Seinän paksuus alle 1 m	400 MHz	10 - 15 dB	[2]				
4	Kivi	Seinän paksuus noin 1m	400 MHz	15 - 20 dB	[2]				
5	Tiili	Seinän paksuus noin 1m	400 MHz	15 - 20 dB	[2]				
6	Teräsbetoni	-	400 MHz	30 dB	[2]				
7	Ihminen	-	2,4 GHz	3 dB	[2]				
8	Ikkuna	-	2,4 GHz	2 dB	[3]				
9	Toimiston ikkuna	-	2,4 GHz	3 dB	[3]				
10	Lasiseinä	Metallikehyksin	2,4 GHz	6 dB	[3]				
11	Toimiston seinä	-	2,4 GHz	6 dB	[3]				
12	Puu ovi	-	2,4 GHz	3 dB	[3]				
13	Metallinen ovi	-	2,4 GHz	6 dB	[3]				
14	Metallinen ovi	Toimiston seinässä	2,4 GHz	6 dB	[3]				
15	Metallinen ovi	Tiiliseinässä	2,4 GHz	12 - 13 dB	[3]				
16	Tiiliseinä	-	2,4 GHz	2 - 8 dB	[3]				
17	Betoniseinä	-	2,4 GHz	10 - 15 dB	[3]				
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25	Building	Frequency [MHz]	n	σ [dB]					
26	Retail stores	914	2.2	8.7					
27	Grocery store	914	1.8	5.2					
28	Office, hard partition	1500	3.0	7.0					
29	Office, soft partition	900	2.4	9.6					
30	Office, soft partition	1900	2.6	14.1					
31	<i>Factory LOS^a</i>								
32	Textile/chemical	1300	2.0	3.0					
33	Textile/chemical	4000	2.1	7.0					
34	Paper/cereals	1300	1.8	6.0					
35	Metalworking	1300	1.6	5.8					
36	<i>Suburban home</i>								
37	Indoor to street	900	3.0	7.0					
38	<i>Factory OBS^b</i>								
39	Textile/chemical	4000	2.1	9.7					
40	Metalworking	1300	3.3	6.8					
41	^a LOS – Line-of-sight. ^b OBS – obstructed sight.								
42									
43									
44									
45									
46									

<	>	(1) Laskut	(2) Vaimennuksia	(3) ITU path loss parametrit	(4) Log-distance parametrit	(5) Lähteet
---	---	------------	------------------	------------------------------	-----------------------------	-------------

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Kaikki sivun materiaali lähteestä [2] vapaasti suomennettuna								
2									
3	Tehohäviö kerroin, N, ITU-site-general indoor propagation mallille					Lattian häviökerroin, Lf(n), ITU-site-general indoor propagation mallille			
4	Taajuus	Asuinalue	Toimisto	Kaupallinen		Taajuus	Asuinalue	Toimisto	Kaupallinen
5	900 MHz	-	33	20		900 MHz	-	9 (n = 1)	-
6	1.2 - 1,3 GHz	-	32	22		900 MHz	-	19 (n = 2)	-
7	1.8 - 2 GHz	28	30	22		900 MHz	-	24 (n = 3)	-
8	4 GHz	-	28	22		1.8 - 2 GHz	4n	15 + 4 (n - 1)	6 + 3 (n - 1)
9	5.2 GHz	-	31	-		5.2 GHz	-	16 (n = vain 1)	-
10	60 GHz*	-	22	17					
11									
12	* 60 GHz oletettu olevan samassa tilassa					Huom! Kaikkea ei ollut kirjassa saatavilla.			
13									
14	Huom! Kaikkea ei ollut kirjassa saatavilla.								

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Kaikki sivun materiaali lähteestä [5] vapaasti suomennettuna, ellei toisin mainita										
2											
3	Suomennuksesta huom! Muutin seuraavasti:										
4	Office, Hard partition	Toimisto, raskas väliseinä									
5	Office, soft partition	Toimisto, kevyt väliseinä									
6											
7	Tyypillisiä log-distance path model parametreja										
8	Rakennus	Taajuus (MHz)	N	σ (dB)							
9	Vähittäiskauppa	914	22	8,7							
10	Ruokakauppa	914	18	5,2							
11	Toimisto, raskas väliseinä	1500	30	7							
12	Toimisto, kevyt väliseinä	900	24	9,6							
13	Toimisto, kevyt väliseinä	1900	26	14,1							
14	Tekstiili/kemikaali	1300	20	3							
15	Tekstiili/kemikaali	4000	21	7,0/9,7							
16	Paperi/Vilja	1300	18	6							
17	Metallintyöstö	1300	16/33	5,8/6,8							
18											
19	Graafisesti etsitty arvot 400 MHz ja 2400 MHz:lle, sillä näitä ei taulukosta löytynyt.										
20	Tyypillisiä log-distance path mallin parametrien mittauksia										
21	Keltaisella pohjalla olevat haettu suoraan käyrältä. Eli arvot täysin oletettaviksi.										
22	Ainakin 400 MHz kerroin tuntui kuitenkin toimivalta. RF-signaalin laskentaan erikoistunut "proman" ohjelma										
23	sekä välilehdellä (1) oleva dominant path malli antoi melko samanlaisen tuloksen kerrointa 7,3 käyttäessä.										
24	Taajuus	σ (dB)									
25	400	7,3									
26	900	9,6									
27	1900	14,1									
28	2400	16,25									
29											
30											
31											
32											
33											
34											
35											
36											
37											
38											
39											
40											
41											
42											
43											
44											
45											

Taajuus	σ (dB)
400	7,3
900	9,6
1900	14,1
2400	16,25

σ (dB) - arvojen graafinen etsiminen eri taajuuksille

46	Graafisesti etsitty arvot 400 MHz ja 2400 MHz:lle, sillä näitä ei taulukosta löytynyt.										
47	Tyypillisiä log-distance path mallin parametrien mittauksia										
48	Keltaisella pohjalla olevat haettu suoraan käyrältä. Eli arvot täysin oletettaviksi.										
49	Ainakin 400 MHz kerroin tuntui kuitenkin toimivalta. RF-signaalin laskentaan erikoistunut "proman" ohjelma										
50	sekä välilehdellä (1) oleva dominant path malli antoi melko samanlaisen tuloksen kerrointa 7,3 käyttäessä.										
51	Taajuus	N									
52	400	23									
53	900	24									
54	1900	26									
55	2400	27									
56											
57											
58											
59											
60											
61											
62											
63											
64											
65											
66											
67											
68											
69											
70											
71											
72											
73											

Taajuus	N
400	23
900	24
1900	26
2400	27

N - kertoimen haku eri taajuuksille

[illegible]